



## **GRAU EN ÒPTICA I OPTOMETRIA**

### **TREBALL FINAL DE GRAU**

---

# **REVISIÓ DE LA POTÈNCIA ESTADÍSTICA I MIDA DE LA MOSTRA EN ESTUDIS DE CONCORDANÇA D'EQUIPS DE DIAGNÒSTIC OCULAR**

**ÀREA:** ÒPTICA VISUAL - APLICADA

**MARINA HOMS ESPINAL**

DIRECTORA - MERITXELL VILASECA RICART

CO-DIRECTOR - CARLES OTERO MOLINS

DEPARTAMENT D'ÒPTICA I OPTOMETRIA

**DATA DE LLIURAMENT**  
**MAIG 2016**



## GRAU EN ÒPTICA I OPTOMETRIA

La Dra. Meritxell Vilaseca Ricart i el Sr. Carles Otero Molins com a directors del treball

CERTIFIQUEN

Que la Sra. Marina Homs Espinal ha realitzat sota la seva supervisió el treball **“Revisió de la potència estadística i mida de la mostra en estudis de concordança d’equips de diagnòstic ocular”** que es recull en aquesta memòria per optar al títol de grau en Òptica i Optometria.

I per a què consti, signen aquest certificat.

Dra. Meritxell Vilaseca Ricart  
Directora del treball

Sr. Carles Otero Molins  
Co-director del treball

Terrassa, 30 de Maig de 2016



## GRAU EN ÒPTICA I OPTOMETRIA

# REVISIÓ DE LA POTÈNCIA ESTADÍSTICA I MIDA DE LA MOSTRA EN ESTUDIS DE CONCORDANÇA D'EQUIPS DE DIAGNÒSTIC OCULAR

## RESUM

En aquest treball s'ha realitzat una revisió de la potència estadística i mida de la mostra en estudis de concordança d'equips de diagnòstic ocular utilitzats en els camps de l'oftalmologia i l'optometria. Amb aquesta finalitat, s'ha portat a terme la revisió bibliogràfica de 215 articles.

La temàtica dels articles engloba estudis en els que s'ha mesurat l'agudesia visual de pacients amb diferents optotips, la pressió intraocular amb diferents tonòmetres, la refracció amb diversos autorefractòmetres, etc.

De les publicacions s'ha analitzat la potència estadística i mida de la mostra utilitzada. En cas que la potència estadística no estigués especificada en l'article, aquesta s'ha calculat mitjançant el programa G\*Power 3.0.10.

Els resultats obtinguts mostren que la majoria d'articles utilitzen una mida de mostra relativament gran. Una quantitat molt reduïda d'articles reporten la potència estadística, i tant els que la reporten com els que no, la potència assolida és elevada. A més, en els últims anys el número d'articles en els que es calcula la potència és més gran. La comunitat científica està prenent consciència de la rellevància de presentar la potència estadística a banda de reportar els resultats de les proves T de Student en un estudi clínic o de recerca.



## GRAU EN ÒPTICA I OPTOMETRIA

# REVISIÓN DE LA POTENCIA ESTADÍSTICA Y TAMAÑO DE LA MUESTRA EN ESTUDIOS DE CONCORDANCIA DE EQUIPOS DE DIAGNÓSTICO OCULAR

### RESUMEN

En este trabajo se ha realizado una revisión de la potencia estadística y tamaño de la muestra en estudios de concordancia de equipos de diagnóstico ocular utilizados en los campos de la oftalmología y la optometría. Con este fin, se ha llevado a cabo la revisión bibliográfica de 215 artículos.

La temática de los artículos engloba estudios en los que se ha medido la agudeza visual de pacientes con diferentes optotipos, la presión intraocular con diferentes tonómetros, la refracción con diversos autorefractómetros, etc.

De las publicaciones se ha analizado la potencia estadística y tamaño de la muestra utilizada. En el caso de que la potencia estadística no estuviera especificada en el artículo, ésta se ha calculado con el programa G\*Power 3.0.10

Los resultados obtenidos muestran que la mayoría de artículos utilizan un tamaño de muestra relativamente grande. Una cantidad muy pequeña de artículos reportan la potencia estadística, y tanto los que la reportan como los que no, la potencia lograda es elevada. Además, en los últimos años el número de artículos en los que se calcula la potencia es más grande. La comunidad científica está tomando conciencia de la relevancia de presentar la potencia estadística aparte de reportar los resultados de las pruebas T de Student en un estudio clínico o de investigación.



## GRAU EN ÒPTICA I OPTOMETRIA

# REVIEW OF STATISTICAL POWER AND SAMPLE SIZE IN AGREEMENT STUDIES OF OCULAR DIAGNOSTIC DEVICES

### ABSTRACT

This work presents a review of the statistical power and sample size in agreement studies of ocular diagnostic devices used in the fields of ophthalmology and optometry. With this aim, we conducted a review of 215 articles.

The topic of the articles included studies which measured the visual acuity of patients using several tests, the intraocular pressure with different tonometers, the refraction with several autorefractors, etc.

The statistical power and sample size used of all publications has been analyzed. If this information was not included in the articles, the statistical power achieved was calculated with the sample size used in the study using the G\*Power 3.0.10 program.

The results show that most papers use a relatively large sample size. A very small amount of articles reported the statistical power, and in those that did not included it, the power achieved was high. Furthermore, it is shown that in recent years the number of papers including the power analysis is larger. Accordingly, the scientific community is becoming aware of the importance of presenting the statistical power analysis apart from the results of the Student's t test in a clinical or research study.



## GRAU EN ÒPTICA I OPTOMETRIA

# REVIEW OF STATISTICAL POWER AND SAMPLE SIZE IN AGREEMENT STUDIES OF OCULAR DIAGNOSTIC DEVICES

This study presents a review of the statistical power and sample size in agreement studies of ocular diagnostic equipment.

When using any instrument, one of the most important things is to assess its trueness and precision. According to the international standards, both concepts of precision and trueness describe the accuracy of a measurement method. Trueness refers to the closeness of agreement between a measurement and the true or accepted reference value; on the other hand, precision refers to the closeness of agreement between test results. The latter involves the concepts of repeatability and reproducibility. Note that in order to study the trueness, the measurement method is assumed to be precise.

In case of studies of ocular diagnostic devices or tests there is not often a "Gold Standard", that is, a value accepted as a reference, and their validation is reduced to compare their results with the ones of others that provide test or other similar instruments. In this case, we speak of agreement between test instruments instead of trueness.

In this study we conducted a review of 215 journal articles that evaluated agreement between instruments or between different methods in the fields of optometry and ophthalmology. The topic of the articles included studies in which the authors measured the visual acuity of patients using several tests, the intraocular pressure with different tonometers, the spherical and cylindrical refraction with several autorefractors, different morphological parameters with Optical Coherence Tomography (OCT), among others.

The studies focused in the analysis of agreement of ophthalmic and optometric equipment use a sample of eyes or subjects in order to determine some variables and to make a statistical analysis. Thus, these studies are very important since they can validate or not several techniques or devices of ocular diagnostic equipment.

In particular, this work analyses if the published studies report the statistical power achieved with the sample size used in each study and the different variables in order to evaluate the agreement of the instruments.



Selecting an adequate sample size needs to be considered early in the process of designing a research study. On the one hand, if a sample size is too small, it will not provide reliable results to the study questions asked or research hypotheses needing to be tested, and it would be complicated or impossible to demonstrate the investigation hypothesis although it is true.

On the other hand, if a sample size is too big can make the study unwieldy, wasting both time and effort. An adequate sample size uses resources and time in the most cost-effective manner and is essential to producing useful research findings.

In this context, statistical power analysis helps to ensure that study findings are meaningful by detecting statistical effects.

Usually, the larger the sample size, the more power associated with the study; however there is a certain value of the sample size at which the power no longer increases. So, the purpose of a power analysis is to estimate the minimum sample size needed to reach a desirable level of power before data collection and to use this estimate in recruiting a sample.

Hypotheses are used by researchers when predicting relationships about study variables. The null hypothesis ( $H_0$ ), sometimes referred to as a “statistical hypothesis,” is based on the concept of a “null effect” that is, no relationship (or difference) exists between variables. On the contrary, an alternative hypothesis ( $H_1$ ), states there is a relationship or difference between variables.

Researchers refer to two types of errors related to data from a study. Type I error also known as “alpha” ( $\alpha$ ) is related to the likelihood that the researcher rejects the null hypothesis (no relations / differences) when in fact the null hypothesis is true. The second error is called type II error, or error “beta” ( $\beta$ ); this is related to the fact that the investigator does not reject the null hypothesis when in fact the null hypothesis the false. Therefore, the statistical power could be defined as the probability of rejecting the null hypothesis when it is false. To sum up, the statistical power is the probability of not considering a type II error.

As formerly stated, the main purpose of this study is to make a review of the statistical power and sample size in agreement studies of ocular diagnostic equipment used in fields of ophthalmology and optometry. To do so, 215 articles of five different journals were analyzed in this study: “Optometry and Vision Science” (OVS), “Ophthalmic & Physiological Optics” (OPO), “Journal of Refractive Surgery” (JRS), “Journal of Cataract & Refractive Surgery” (JCRS) and “Investigative Ophthalmology & Visual Science” (IOVS), published between the years 1992 and 2015.

Of all the articles analyzed, only those evaluating parametric quantitative variables were included in the review. Therefore, the studies used a Student’s t test analysis. Studies with non-parametric variables and with more than 2 comparison groups, i.e., using an ANOVA analysis were excluded from this review.

For the remaining included studies, we analyzed if the statistical power was reported taking into account the sample size used and the several variables. If the statistical power was not included, the sample size needed in order to achieve a statistical power of 0.8 was calculated using the G\*Power 3.0.10 program (0.8 is the value of reference to consider the results of an investigative study reliable). It is noteworthy that the statistical power has a range from 0 to 1.

For all them, the statistical power and sample size information was collected in an Excel file. The G\*Power 3.0.10 program, which allows to select between the type of comparison made, needs entering the following information in the case of a study using parametric data and 2 groups for comparison (T Student): sample size (n), mean and standard deviation (SD) of groups 1 and 2 and correlation between them, or the mean and SD of differences between groups 1 and 2.

If the articles did not have this information or it was impossible to calculate it from another data such as limits of agreement (LoA), usually represented by the Bland and Altman plots, and confidence intervals (CI), they were excluded from the analysis.

Finally, 167 articles of agreement were included in the review. For them, the sample size (n) of the studies was between 5 and 1564. The mean ( $\pm$  SD) was of  $102 \pm 201$  and the median 53. It was observed that most of the studies used a sample from 0 to 199 eye (or subjects). A deeper analysis showed that the majority of articles analyzed used a sample size between 40 and 59 eyes or subjects.

Of the 167 articles, only 15 indicated statistical power achieved. In this case, the mean ( $\pm$  SD) (range minimum and maximum) of the statistical power was  $0.88 \pm 0.066$  (from 0.80 to 0.99). And the median of 0.90.

Moreover, 200 of the 215 articles analyzed did not include information in regard to the power. This is equivalent to 93.02% of all the studies considered. In this case, using the data available in the publication, the power achieved could be calculated in 152 of the articles; For the remaining 48 it was not possible because the calculation did not report the data to be entered into the program G\*power; others were excluded since they used an ANOVA analysis or non-parametric variables.

For the 152 papers for which it was possible to carry out the calculation, the mean ( $\pm$  SD) (range minimum and maximum) of the statistical power was  $0.70 \pm 0.34$  (from 0.05 to 1.00). And the median of 0.88.

Apart from all this, we also wanted to know if there was any relation between the report of the statistical power and the year of publication of the article. From the articles reviewed in this study we found that between 2000 and 2003, one article reported the statistical power, while between 2012 and 2015, seven articles did it.

From the results obtained it can be concluded that most articles of agreement used a sample size between 40 and 59 eyes or subjects, i. e., a sample size larger than 30. This is considered





acceptable from a statistical and clinical point of view by some scientists, although it does not strictly ensure a minimum statistical power.

Considering the 167 articles included in the comparison, a 27.5% were related to a statistical power lower than 50%, 12.6% to a moderate power (between 50-79 %), 10.2% with a high statistical power (80-89%) and 49.7% to a very high statistical power ( $\geq 90$  %).

In general, we can conclude that the statistical power achieved in many of the studies was optimal; almost 60% of the agreement articles analyzed were linked to a power greater than 0.8, which is usually the reference value considered from the statistical point of view to ensure that the results of a study are reliable.

Last but not least, in view of the results it can also be concluded that recently, the number of papers in which the statistical power is included is higher. Accordingly, this means that the scientific community is becoming aware of the importance of presenting statistical power apart from reporting the results of the Student's t test in a research or clinical study.



## AGRAÏMENTS

Especialment a la Meritxell Vilaseca Ricart i a en Carles Otero Molins, directora i co-director del treball, pels seus consells, ajuda i dedicació durant el desenvolupament d'aquest treball final de grau, tot fent-ne possible la seva realització.

A la companya Marta Soler Valls i a totes aquelles persones, amics i família que gràcies al seu suport han fet més fàcil l'execució del TFG.

## ÍNDEX DE CONTINGUTS

1. Introducció.....	1
2. Objectius.....	6
3. Material i mètode .....	7
4. Resultats .....	11
5. Discussió i conclusions.....	15
6. Referències .....	16
7. Apèndix: Publicacions analitzades.....	17

## ÍNDEX DE FIGURES

Figura 1. Seqüència jeràrquica de conceptes.....	2
Figura 2. Conceptes d'error $\alpha$ i $\beta$ segons la distribució de les variables.....	4
Figura 3. Exemple de càlcul de la potència estadística amb el programa G*Power.....	8
Figura 4. Exemple de càlcul de la mostra necessària amb el programa G*Power.....	9
Figura 5. Histograma amb el número d'articles vs. la mida de la mostra utilitzada.....	11
Figura 6. Histograma amb el número d'articles vs. la mida de la mostra utilitzada, per a $n = 0 - 199$ .....	12
Figura 7. Histograma amb el número d'articles vs. potència estadística assolida pels articles que inclouen aquest anàlisi .....	12
Figura 8. Histograma amb el número d'articles vs. potència estadística assolida pels articles que no inclouen aquest anàlisi .....	13
Figura 9. Histograma amb el número d'articles vs. potència estadística assolida en tots els articles analitzats .....	14
Figura 10. Histograma amb el número d'articles vs. l'any de publicació dels articles que reporten la potència estadística .....	14

## ÍNDEX DE TAULES

Taula 1. Tipus de test estadístic segons mostres analitzades .....	5
Taula 2. Concepte de significança .....	5

## 1. INTRODUCCIÓ

En aquest treball es fa una revisió de la potència estadística i mida de la mostra utilitzada en estudis de concordança d'equips relacionats amb el diagnòstic ocular.

En l'àmbit de l'oftalmologia i l'optometria es realitzen nombrosos estudis relacionats amb la concordança d'equips o test de diagnòstic utilitzats en la pràctica clínica habitual.

Alguns exemples d'estudis que s'han analitzat tracten sobre mesures de la pressió intraocular amb diferents tonòmetres, comparació de mesures amb autorefractòmetres pel que fa a l'esfera i el cilindre descompost en  $J_0$  i  $J_{45}$ , mesures de diferents paràmetres morfològics amb diversos equips de Tomografia de Coherència Òptica (OCT), entre molts d'altres.

Els estudis en què s'analitza la concordança d'equips o test de diagnòstic ocular, s'apliquen sobre una mostra determinada de pacients o ulls per determinar-ne algunes variables i fer l'anàlisi estadística corresponent. Aquests estudis són molt importants ja que validen o invaliden tècniques que posteriorment seran de molta importància per al diagnòstic ocular o de la funció visual.

La precisió i la concordança són conceptes que els trobem definits a la norma UNE 82009-1 *"Exactitud (veracidad y precisión) de resultados y métodos de medición. Parte 1: Principios generales y definiciones"*<sup>1</sup>. Aquesta norma espanyola data del 28 de Setembre de 1998 i ha estat elaborada pel comitè tècnic AEN/CTN 82 Metrologia i Calibratge. És vigent i la seva norma internacional equivalent és la ISO 5725-1:1994.

En aquesta norma es defineixen els següents conceptes:

L'exactitud es pot entendre com la suma dels conceptes veracitat i precisió (Fig. 1). És el grau de concordança entre el resultat d'un assaig i el valor acceptat com a referència. Aplicat a un conjunt de resultats, és un terme que implica la combinació de components aleatoris (precisió) i una component d'error sistemàtic o biaix (veracitat).

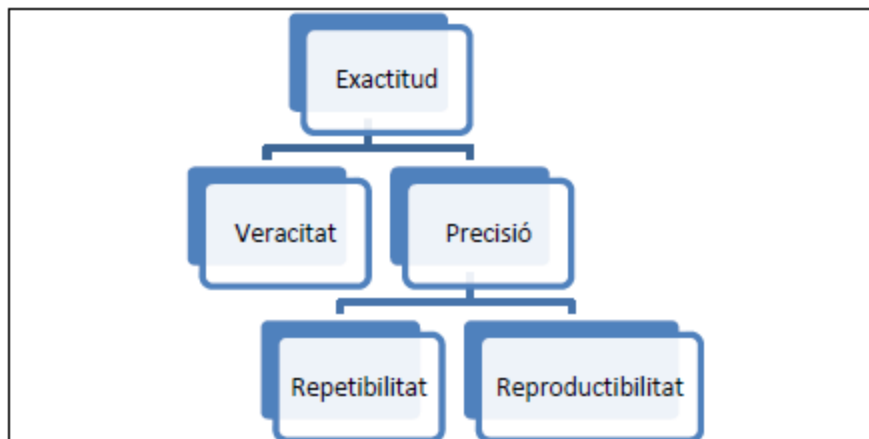
La veracitat és el grau de concordança existent entre el valor mig obtingut d'una gran sèrie de resultats i un valor acceptat com a referència. La mesura de la veracitat s'expressa normalment en termes de biaix.

En el cas d'estudis d'instruments o test de diagnòstic ocular, sovint no existeix un "Gold Standard", és a dir, un valor acceptat com a referència, i la validació dels mateixos es redueix a la comparació dels resultats amb d'altres que

proporcionen altres instruments o test similars. En aquest cas, es parla de concordança entre instruments o test en comptes de veracitat.

D'altra banda, la precisió és el grau de coincidència entre els resultats independents d'un assaig obtinguts en condicions estipulades. Depèn únicament de la distribució d'errors aleatoris i no està relacionada amb el valor verdader o especificat. S'expressa generalment en termes de desviació típica dels resultats. A major desviació menor precisió. Hi ha dos tipus de precisió: la repetibilitat i la reproductibilitat.

La repetibilitat mesura la precisió en la que s'obtenen resultats independents, amb el mateix mètode, sobre idèntiques mostres, en el mateix laboratori, pel mateix operador, utilitzant els mateixos equips de mesura i durant un curt interval de temps. En la mesura de reproductibilitat, el laboratori, l'operador i els equips de mesura són diferents. El primer concepte caracteritza la menor variació i el segon la màxima variació del resultats.



**Figura 1.** Seqüència jeràrquica de conceptes.

Tot i així, el treball només se cenyirà a examinar els articles que han dut a terme estudis de concordança, tal com s'ha comentat anteriorment.

Concretament, en aquest treball s'analitza si els estudis publicats en els àmbits de l'oftalmologia i l'optometria han tingut en compte la potència estadística que han aconseguit amb el número de mostres incloses en l'estudi i el tipus de variables obtingudes per tal d'avaluar la concordança d'equips o test de diagnòstic.

La determinació de la mida de la mostra és un pas important a l'hora de dissenyar un estudi de recerca. Si la mida de la mostra és massa petita, l'estudi no proporcionarà respostes fiables per estudiar les hipòtesis plantejades.

Amb una petita mostra, l'estudi no té potència estadística suficient i no es pot garantir que els resultats obtinguts descriguin amb precisió la població en general. Si bé no hi ha específicament una definició d'una mostra petita, en estadística es parla generalment de 30 subjectes o ulls. És a dir, es considera una mostra gran o acceptable quan és major de 30, encara que no implica necessàriament que la mida de la mostra sigui suficient per a una representació fidel de la població.

Una altra consideració de la mida de la mostra necessària a incloure en un estudi està relacionada directament amb els tipus de variables estudiades. En funció de si aquestes varien més o menys entre la població, és a dir, tenen més o menys variància, la mida de la mostra requerida varia. Com més variància, més gran haurà de ser el número de pacients o ulls considerat.

Els investigadors usen hipòtesis per predir les relacions i les diferències sobre les principals variables d'un estudi. La hipòtesi nul·la ( $H_0$ ) es basa en el concepte d'un "efecte nul"; en altres paraules, no hi ha relació (o diferència) entre variables. Pel contrari, la hipòtesi alternativa ( $H_1$ ) afirma que hi ha una relació o diferència entre variables<sup>2</sup>.

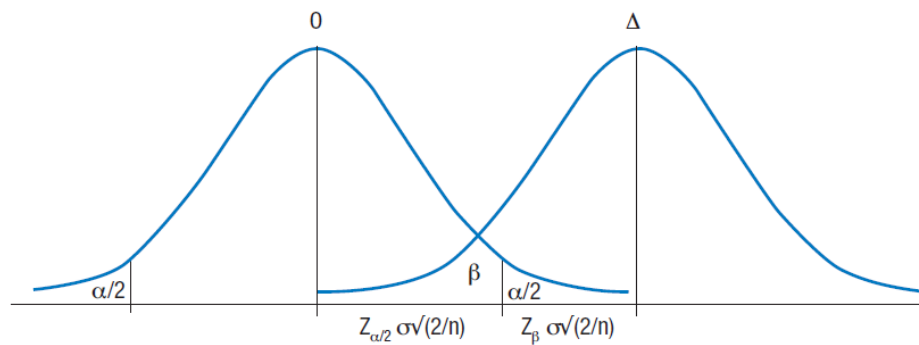
En estudis de concordança, les variables fan referència per exemple a valors obtinguts a partir de dos instruments diferents.

Els investigadors es refereixen a dos tipus d'errors relacionats amb les dades d'un estudi. Els errors denominats de tipus I, coneguts també com error "alfa" ( $\alpha$ ), que tenen a veure amb la probabilitat que l'investigador rebutgi la hipòtesi nul·la (no hi ha relacions / diferències) quan en realitat la hipòtesi nul·la és certa. El segon error es denomina error de tipus II, denominat de vegades com error "beta" ( $\beta$ ); aquest està relacionat amb el fet que l'investigador no rebutgi la hipòtesi nul·la quan de fet la hipòtesi nul·la és falsa.

Per tant, la potència estadística es podria definir com la probabilitat de rebutjar la hipòtesi nul·la quan és falsa, o dit en altres paraules, és la probabilitat d'acceptar la hipòtesi alternativa quan és certa. Es pot resumir en que és la probabilitat de no cometre un error de tipus II.

La mida de la mostra requerida és aquella que permet que el solapament entre les distribucions de la variable sota  $H_0$  i  $H_1$  proporcioni uns valors de  $\alpha$  i  $\beta$  específics. També s'ha de tenir en compte, a part de la variància associada a cada variable, que si el número de mostres en la població analitzada ( $n$ ) augmenta, les distribucions es fan més estretes, disminuint el grau de solapament, i per tant, els riscos  $\alpha$  i  $\beta$  (Fig. 2).





**Figura 2.** Conceptes d'error  $\alpha$  i  $\beta$  segons la distribució de les variables.

La potència d'un estudi per establir una alternativa d'interès és el complementari del risc  $\beta$ . Normalment, en estudis clínics o de recerca s'estableix que el nivell d'error tipus I (o alfa) sigui de 0.05 (95% de confiança estadística) i que  $\beta$  (error tipus II) sigui de 0.2, és a dir, es tingui una potència estadística de 0.8 o 80%. Si l'estudi ha assolit una potència del 90% es considera òptim. D'altra banda, per a estudis pilot s'accepten valors de potència estadística compresos entre 0.5 i 0.8. Cal esmentar que la potència estadística té un rang de 0 a 1.

La potència estadística és un paràmetre molt important que s'hauria de calcular sempre que fos possible abans de realitzar estudis d'investigació, ja que s'evitaria dur a terme costosos estudis amb potència estadística molt petita, en els quals seria molt complicat demostrar la hipòtesi de la investigació encara que fos certa.

D'altra banda, si es tracta d'estudis amb proves invasives pel pacient, i s'agafa una mostra molt gran, és a dir, en que per exemple s'assoleixi una potència estadística de 1.00, s'està posant en risc a més persones del compte, quan amb una mostra que proporcionés una potència de 0.80, es consideraria la mostra suficient per admetre l'estudi com a vàlid, i al mateix temps s'estalviarien recursos econòmics.

Una altra dada de molt interès, és la mida de l'efecte ( $d$ ). De fet, la potència estadística, a banda de dependre de  $n$  i els errors tipus I i II descrits anteriorment, també en depèn. La mida de l'efecte quantifica la diferència entre mitjanes de dos grups.

La potència estadística (PE) es calcula sobre la base de tres xifres: grandària de la mostra ( $n$ ), nivell d'error ( $\alpha$ ) i mida de l'efecte ( $d$ ). En termes generals podem afirmar que com més gran sigui la mostra, més gran serà la potència estadística (mantenint constant el  $d$  i  $\alpha$ ), atès que l'error aleatori de mesura és menor. La mida de l'efecte representa el grau en què la hipòtesi nul·la és falsa. Quan la  $d$  és gran la PE augmenta. En incrementar l'error de tipus I la potència també

augmenta i com més petit és el valor de  $\alpha$ , més baixa serà la potència. És per això que s'ha d'equilibrar la probabilitat de cometre errors de tipus I i II.

Tal i com es desprèn de la gràfica anterior (Fig. 2), el solapament existent entre variables té a veure amb la distribució de les mateixes. Aquestes poden seguir una distribució tipus T de Student o no. En el cas que tinguin aquest tipus de distribució es parla de variables amb distribució normal o paramètriques. A banda de la potència estadística explicada anteriorment, amb variables d'aquest tipus i si es disposa de dos grups de comparació es poden utilitzar els següents tests per tal de rebutjar, o no, la hipòtesi nul·la (Taula 1).

Mostres	Variables paramètriques	Variables no paramètriques
<b>Independents</b>	Test T de Student per mostres independents	U Mann-Whitney
<b>Aparellades*</b>	Test T de Student per mostres aparellades	Wilcoxon

**Taula 1.** Tipus de test estadístic segons mostres analitzades (\*: les observacions estan relacionades entre elles).

En general, aquestes proves treballen amb una significança del 95%. Això es resumeix a la taula següent:

<b>Hipòtesi nul·la (<math>H_0</math>): les mostres són iguals.</b>	
<b>Significança (<math>p</math>):</b>	Si $p < 0.05$ rebutgem $H_0 \rightarrow$ Hi ha diferències entre les mostres.
	Si $p > 0.05$ no rebutgem $H_0 \rightarrow$ NO hi ha diferències entre les mostres.

**Taula 2.** Concepte de significança.

Tal i com s'ha dit anteriorment, en aquest treball de fi de grau s'analitza si els estudis clínics o de recerca publicats en els àmbits de l'oftalmologia i l'optometria han tingut en compte la potència estadística que han aconseguit amb el número de mostres incloses en l'estudi i el tipus de variables obtingudes per tal d'avaluar la concordança d'equips o test de diagnòstic. En cas que no ho hagin tingut en compte, s'ha calculat la mida de la mostra necessària que s'hauria d'haver utilitzat per tal d'obtenir una potència estadística del 80%, que és el valor que normalment es considera vàlid.

Només s'han avaluat publicacions que analitzaven dos grups de comparació i de variables paramètriques.

## 2. OBJECTIUS

L'objectiu general d'aquest treball és fer una revisió de la potència estadística i mida de la mostra en estudis de concordança d'equips relacionats amb el diagnòstic ocular i visual.

Per assolir aquest objectiu general s'han proposat els següents objectius específics:

- Revisió bibliogràfica d'articles publicats en les revistes: "Optometry and Vision Science" (OVS), "Ophthalmic & Physiological Optics" (OPO), "Journal of Refractive Surgery" (JRS), "Journal of Cataract & Refractive Surgery" (JCRS) i "Investigative Ophthalmology & Visual Science" (IOVS), entre els anys 1992 i 2015.
- Anotació en un document Excel, de la potència estadística i mida de la mostra utilitzats en els estudis analitzats en el cas d'incloure l'anàlisi de variables paramètriques.
- En cas que aquesta informació no estigui disponible a l'article, càlcul de la potència estadística assolida amb la mostra utilitzada a l'estudi mitjançant el programa G\*Power 3.0.10.
- Avaluació dels resultats obtinguts i extracció de conclusions.

### 3. MATERIAL I MÈTODE

En aquest treball s'han analitzat 215 articles de les revistes "Optometry and Vision Science" (OVS), "Ophthalmic & Physiological Optics" (OPO), "Journal of Refractive Surgery" (JRS), "Journal of Cataract & Refractive Surgery" (JCRS) i "Investigative Ophthalmology & Visual Science" (IOVS), publicats entre els anys 1992 i 2015. Totes aquestes revistes estan disponibles en format electrònic a través d'enllaços de la Universitat Politècnica de Catalunya (UPC).

Tots aquests articles es corresponen a estudis d'equips o test utilitzats per al diagnòstic ocular o visual. De totes aquestes publicacions se n'han inclòs en la revisió finalment 167, en les que s'avaluaven variables quantitatives paramètriques, és a dir, amb una distribució normal. Conseqüentment, els estudis analitzats utilitzaven un anàlisi tipus T de Student. Els estudis amb variables no paramètriques i més de dos grups de comparació amb un anàlisi del tipus ANOVA s'han exclòs d'aquesta revisió.

Pels estudis inclosos s'ha analitzat si reportaven la potència estadística tenint en compte la mostra de població utilitzada i el tipus de variables. En cas afirmatiu, s'ha anotat en un document Excel la següent informació: les sigles de la revista de la qual prové l'article, el número d'article, si s'analitza la concordança, la mida de l'efecte, la mitjana i desviació estàndard de les diferències entre grups, o la mitjana i desviació estàndard de les variables pels dos grups considerats i la correlació entre les mateixes (si es proporciona), l'any de publicació de l'article, la potència reportada, mida de la mostra, si s'ha utilitzat un o dos ulls de cada pacient, una breu descripció del tipus d'estudi i el número d'autors de l'article.

En cas contrari, s'ha calculat la mida de la mostra necessària per aconseguir una potència estadística de 0.8, valor que habitualment es té en compte per tal de considerar fiables els resultats d'un estudi tal i com s'ha dit anteriorment.

Per realitzar aquest càlcul s'ha utilitzat el programa G\*Power3.0.10<sup>3</sup>. Aquest programa permet seleccionar entre el tipus de comparació realitzada, i necessita que introduïm les següents dades en el cas de la T de Student: mida de la mostra (n), mitjana i desviació estàndard (SD) dels grups 1 i 2 i correlació entre elles, o mitjana i SD de les diferències entre els grups 1 i 2. Si els articles no disposaven d'aquesta informació, també s'excloïen de l'anàlisi.

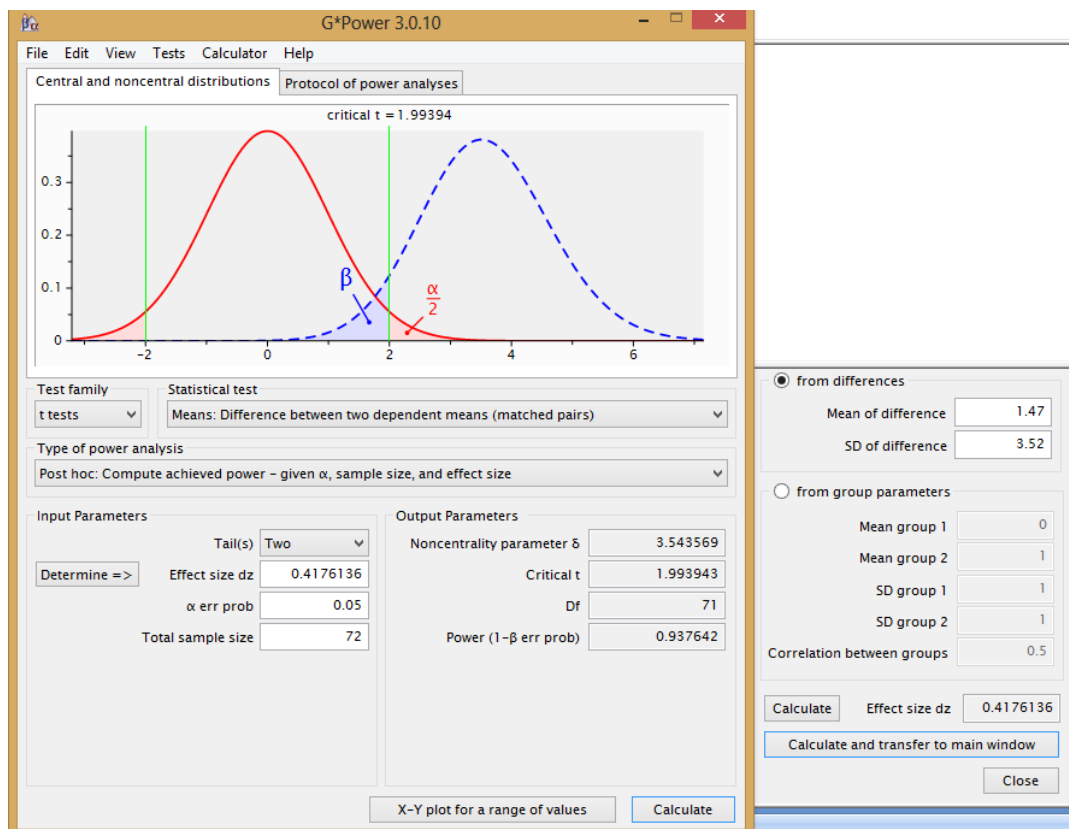
A continuació, es mostra un exemple de càlcul realitzat amb el programa:

A la imatge següent (Fig. 3.) es mostra com s'han d'introduir les dades al programa per obtenir la potència estadística.

Primer se selecciona l'opció de t tests a l'apartat de "Test family", ja que els articles analitzats corresponien a t test. A l'apartat de "Statistical test" se selecciona l'opció de "matched pairs", en el cas que siguin mostres aparellades.

A continuació, a l'apartat "Type of power analysis" es tria l'opció de "Post hoc" per tal de poder calcular la potència estadística.

S'observa que la mida de la mostra s'escriu a l'apartat de "Total sample size". A l'exemple s'ha assignat un valor de 72, és a dir, 72 ulls o subjectes. A continuació, a la pestanya que apareix a la banda dreta, es pot introduir a l'apartat "from differences", la mitjana i la SD de les diferències, en aquest cas 1.47 i 3.52, respectivament. En cas que no haguéssim disposat d'aquestes dades, però sí de la mitjana i SD dels grups 1 i 2 i correlació entre elles, s'hagués introduït a la segona opció, a l'apartat "from group parameters".

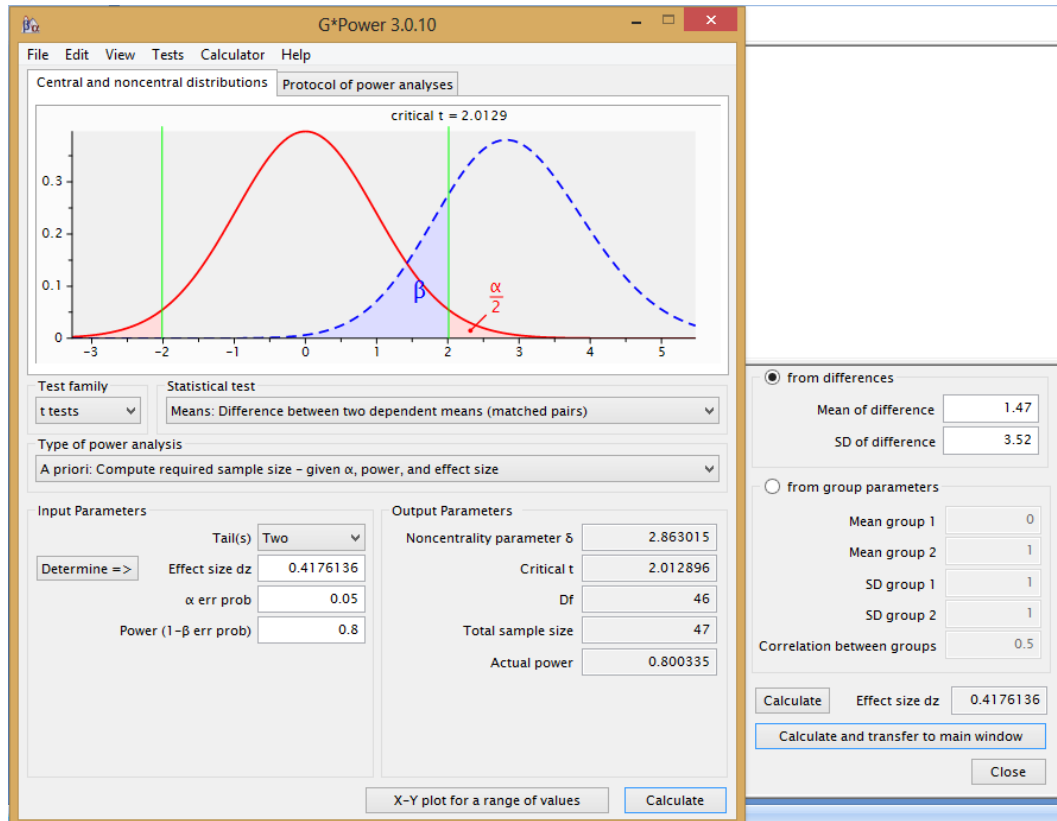


**Figura 3.** Exemple de càlcul de la potència estadística amb el programa G\*Power.

Un cop es selecciona l'opció "Calculate", dona la informació de la mida de l'efecte (Effect size dz), i el valor de la potència estadística obtinguda (Power (1- $\beta$  err prob)), situada a la pestanya principal. En aquest cas, s'obté una potència estadística de 0.94 aproximadament.

En cas de voler saber la mida de la mostra necessària per aconseguir una potència estadística de 0.8, s'han de realitzar els passos que mostra la següent

imatge (Fig. 4). Només cal canviar l'opció de l'apartat "Type of power analysis" per la de "A priori", i a continuació es torna a seleccionar "Calculate" i apareix la mida de la mostra per a una potència de 0.8 a l'apartat de "Total sample size". En el cas de l'exemple esdevé de 47 ulls o subjectes.



**Figura 4.** Exemple de càlcul de la mostra necessària amb el programa G\*Power.

Així doncs, en aquest exemple s'ha obtingut una potència estadística de 0.94 per a la mostra de 72 ulls o subjectes que han utilitzat a l'article, i amb la mitjana i SD que han obtingut. També s'observa que només calien 47 ulls o subjectes per a obtenir una potència de 0.8, valor que habitualment es té en compte per tal de considerar fiables els resultats d'un estudi.

A vegades, les dades requerides no estaven explícitament en l'article i s'havien de calcular a partir d'altres de que sí es disposava, per exemple: Intervals de confiança (confidence intervals o CI), límits de concordança (limits of agreement o LoA) i l'error estàndard de la mitjana (standard error of the mean o SEM), etc.

Les relacions d'aquests conceptes estadístics es descriuen a continuació:

En els treballs publicats en els últims anys, per parlar de concordança entre les mesures i establir els límits de confiança no s'utilitza l'estudi de la regressió lineal sinó que es treballa amb els límits proposats per Bland i Altman (1986). Aquests autors suggereixen que cal esperar que la mitjana de les diferències (Md) serà



propers a 0 i que la majoria de les diferències entre parells de mesures equivalents corresponents a diferents repeticions es situïn entre el rang de  $\pm 1.96 Sd_M$ , on  $Sd_M$  és la desviació estàndard de la mitjana de les diferències (o entre  $\pm 2.56 Sd_M$ ), on 1.96 i 2.56 fan referència a l'interval del 95% i 99% de confiança estadística respectivament.

A partir dels límits de concordança es pot calcular la mitjana de les diferències, o bé la  $SD_M$  amb aquestes fórmules:

$$\text{Límit superior} = Md + 1.96 \cdot SD_M$$

$$\text{Límit inferior} = Md - 1.96 \cdot SD_M$$

A vegades, en comptes d'aquests límits, l'article proporciona els intervals de confiança a través dels quals també es pot obtenir la mitjana de les diferències o el SEM a partir de la següent fórmula:

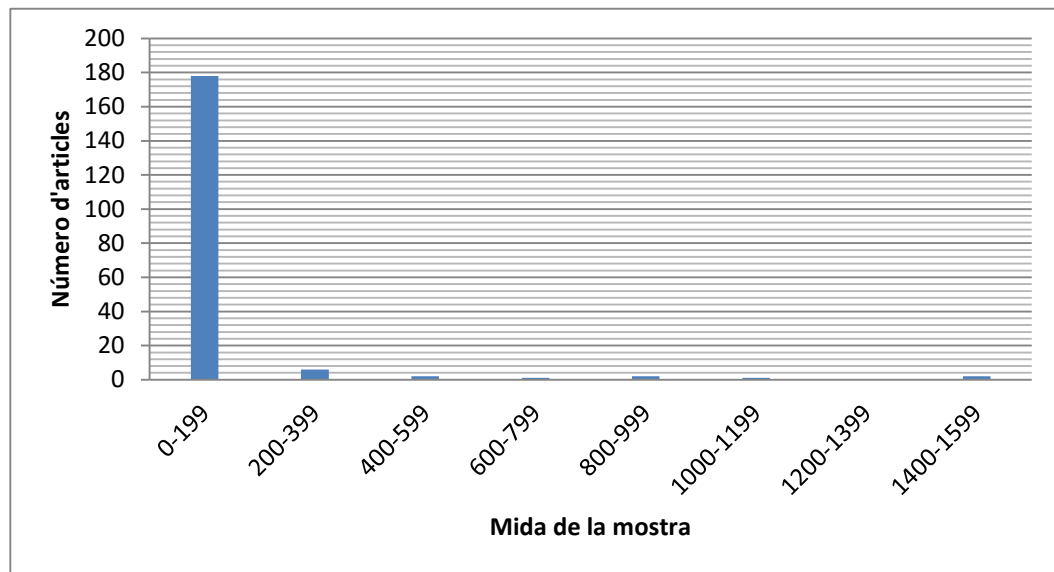
$$\text{Límits CI} = Md \pm 1.96 \cdot SEM$$

On SEM fa referència a la desviació estàndard dividida per l'arrel quadrada de la mida de la mostra ( $n$ ). D'aquesta manera es pot obtenir la SD per introduir-la al programa:

$$SD = SEM \cdot \sqrt{n}$$

#### 4. RESULTATS

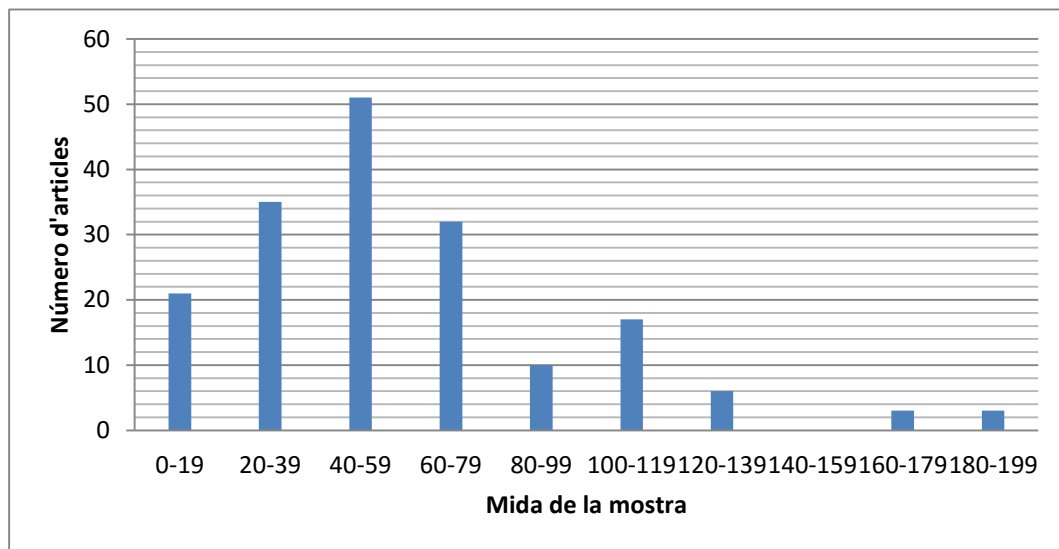
Dels 167 articles de concordança inclosos a la revisió, la mida de la mostra (n) dels estudis està compresa entre 5 i 1564. La mitjana ( $\pm$ SD) és de  $102\pm 201$  i la mediana de 53. A la figura 5 es mostra l'histograma del número d'articles en funció de la mida de la mostra utilitzada.



**Figura 5.** Histograma amb el número d'articles vs. la mida de la mostra utilitzada.

S'observa que la majoria d'estudis han utilitzat una mostra entre 0 a 199 ulls o subjectes.

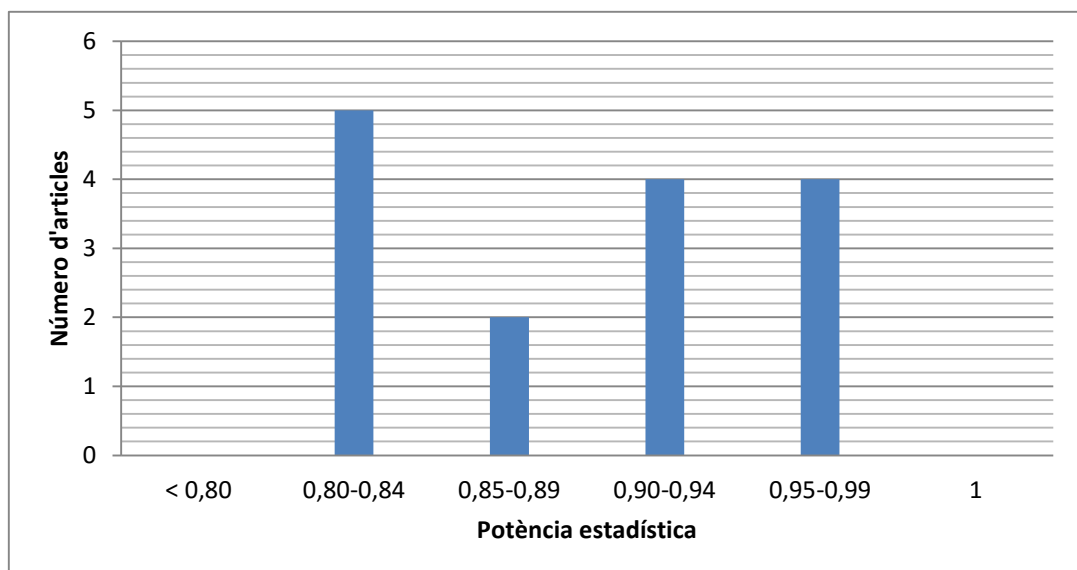
A continuació, a la figura 6 es mostra el mateix tipus de gràfic però només per a (n) de 0 a 199, ja que a la gràfica anterior no queda prou especificat, pel fet que s'ha hagut de realitzar amb intervals grans.



**Figura 6.** Histograma amb el número d'articles vs. la mida de la mostra utilitzada, per a n= 0 - 199.

Així doncs, s'observa que la gran majoria d'articles analitzats utilitzen una mostra compresa entre 40 i 59 ulls o subjectes.

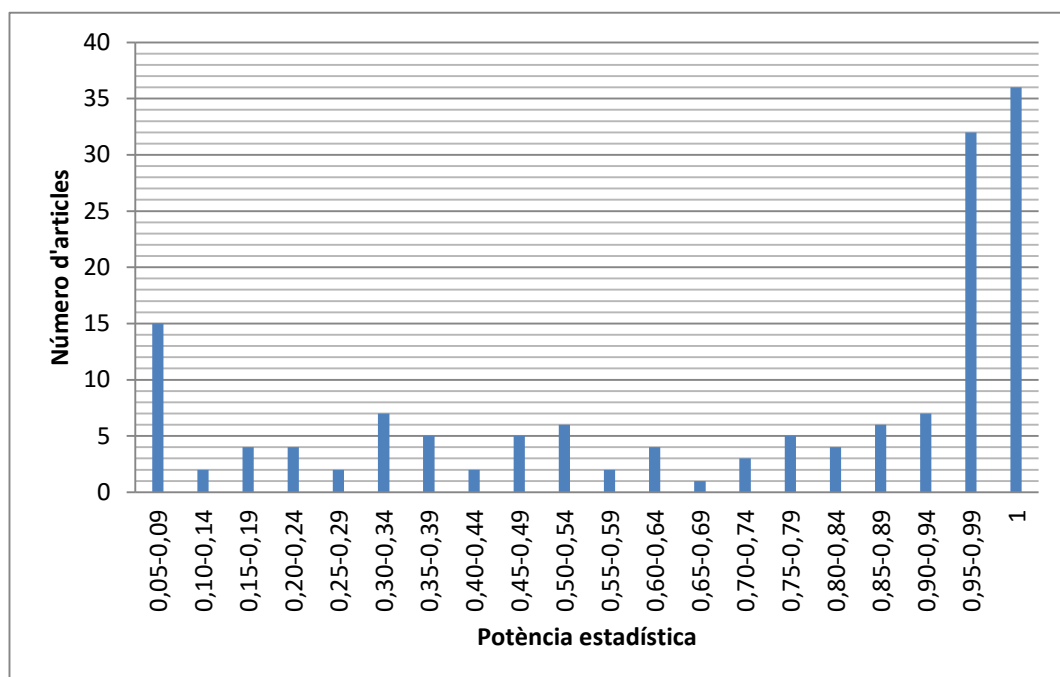
Dels 167 articles inclosos en la revisió bibliogràfica, 15 indicaven la potència estadística assolida. La potència assolida per aquests es pot observar a la figura 7. La mitjana ( $\pm$ SD) (rang màxim i mínim) de la potència estadística va ser de  $0.88 \pm 0.066$  (0.99 – 0.80). I la mediana de 0.90.



**Figura 7.** Histograma amb el número d'articles vs. potència estadística assolida pels articles que incloïen aquest anàlisi.

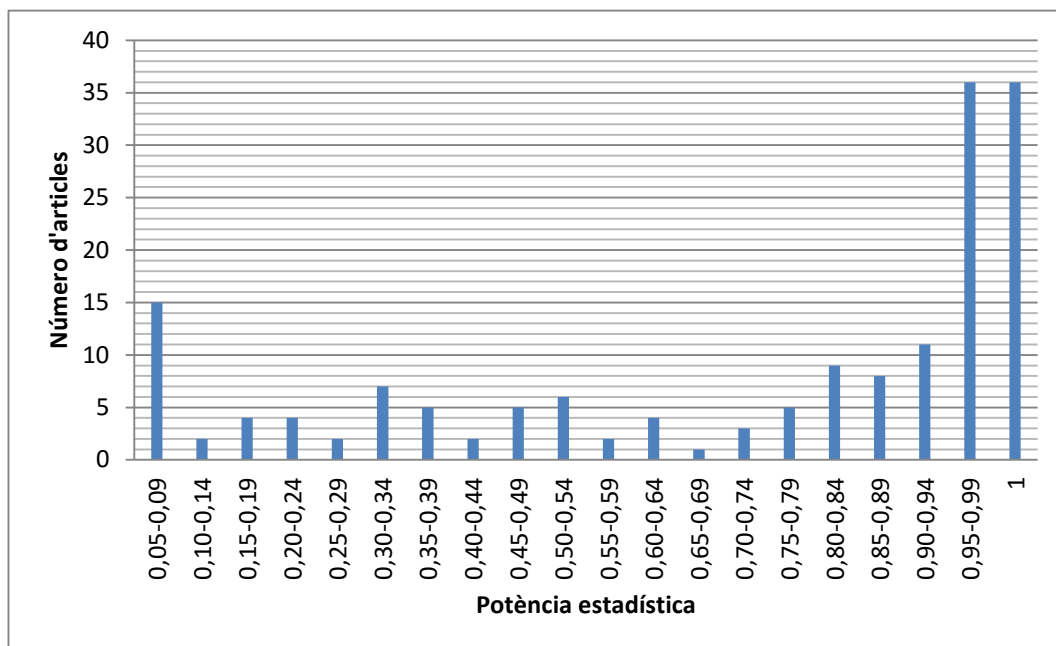
D'altra banda, dels 215 articles analitzats, 200 no incloïen informació pel què fa a la potència. Això equival a un 93.02% de tots els estudis considerats. En aquest cas, mitjançant les dades disponibles en la publicació es va calcular la potència assolida per a 152 articles; Pels 48 restants no va ser possible realitzar el càlcul pel fet que o no es reportaven les dades a introduir en el programa G\*Power, o bé eren estudis realitzats amb ANOVA o variables no paramètriques.

A la figura 8 es mostra l'histograma amb el número d'articles versus la potència estadística assolida pels 152 articles pels que es va poder dur a terme el càlcul. La mitjana ( $\pm$ SD)(rang màxim i mínim) de la potència estadística va ser de  $0.70 \pm 0.34$  (1.00 – 0.05). I la mediana de 0.88.



**Figura 8.** Histograma amb el número d'articles vs. potència estadística assolida pels articles que no incloïen aquest anàlisi.

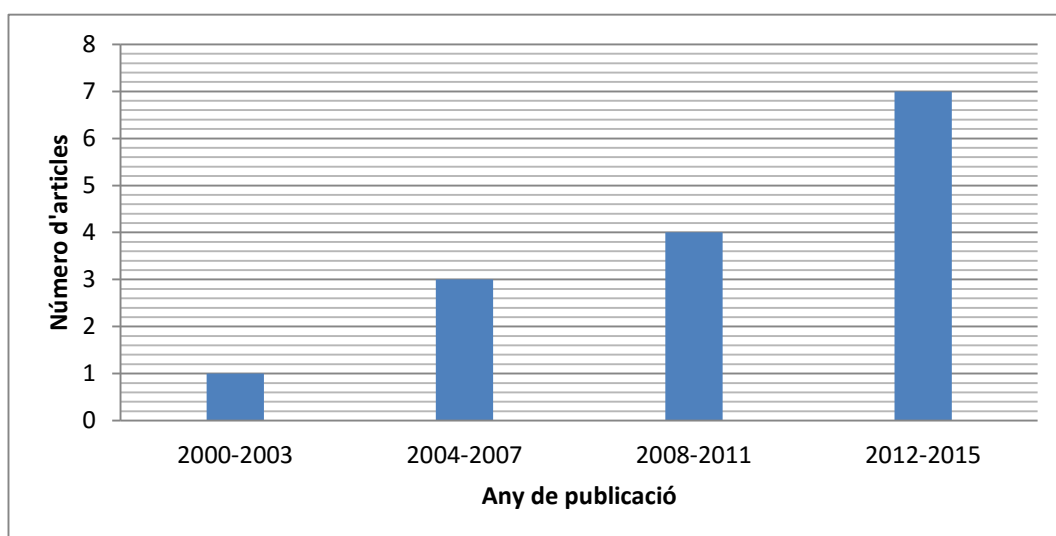
A la figura 9, es mostra l'histograma pel total d'articles inclosos al treball (167) tenint en compte tant els que reportaven la potència estadística com els que no.



**Figura 9.** Histograma amb el número d'articles vs. potència estadística assolida en tots els articles analitzats.

Així doncs, un 27.5% dels 167 articles inclosos en la comparació estaven lligats a una potència estadística inferior al 50%, 12.6% a una potència moderada compresa entre 50-79%, 10.2% a una potència estadística alta d'entre 80-89%, i 49.7% a una potència estadística molt alta ( $\geq 90\%$ ).

Finalment, a la figura 10 es mostra el número d'articles que reporten la potència estadística en funció de l'any de publicació de l'article per a tots aquells articles en què es donava aquesta informació.



**Figura 10.** Histograma amb el número d'articles vs. l'any de publicació dels articles que reporten la potència estadística.

## 5. DISCUSSIÓ I CONCLUSIONS

Tal i com es pot observar en els resultats obtinguts, la majoria d'articles de concordança utilitzen una mida de mostra entre 40 i 59 ulls o subjectes, és a dir, una mida superior a 30. Aquesta mida és considerada acceptable des d'un punt de vista clínic i estadístic per alguns científics, tot i que estrictament no assegura una potència estadística mínima.

Només un 7% dels 215 articles analitzats (15) reportaven la potència estadística. D'aquests, la majoria tenien una potència estadística molt elevada (0.90-0.99).

Dels que no la reportaven i que s'ha pogut calcular a partir de les dades de l'article (152), la majoria tenien una potència estadística elevada ( $\geq 0.90$ ).

Per 48 articles dels 215 analitzats no va ser possible realitzar el càlcul ja que o no es reportaven les dades a introduir en el programa G\*Power, o bé eren estudis realitzats amb ANOVA o variables no paramètriques.

Així doncs, dels 167 articles inclosos finalment en la comparativa, un 27.5% estaven lligats a una potència estadística inferior al 50%, 12.6% a una moderada compresa entre 50-79%, 10.2% a una potència estadística alta 80-89%, i 49.7% a una potència estadística molt alta ( $\geq 90\%$ ).

En general, es pot concloure que la potència estadística assolida en molts dels estudis era òptima; tant els articles que reportaven la potència estadística com els que no van obtenir una potència elevada. Concretament, gairebé un 60% dels articles de concordança analitzats estaven lligats a una potència superior al 0.8, que és el límit que normalment es considera des del punt de vista estadístic per garantir que els resultats d'un estudi són fiables.

A la vista dels resultats també es pot concloure que darrerament, el número d'articles en els que es calcula la potència estadística és més gran. Això significa que la comunitat científica està prenent consciència de la rellevància de presentar la potència estadística a banda de reportar els resultats de les proves T de Student en un estudi clínic o de recerca.



## 6. REFERÈNCIES

1. "Exactitud (veracidad y precisión) de resultados y métodos de medición. Parte 1: Principios generales y definiciones". Norma española UNE 82009-1. Septiembre 1998.
2. Fitzner K, Heckinger E. Sample Size Calculation and Power Analysis: A Quick Review. *The Diabetes Educator*. August 2010; p.701-707. doi:10.1177/0145721710380791.
3. Cárdenas Castro M, Arancibia Martini H. Potencia Estadística y Cálculo del Tamaño del Efecto en G\*Power : Complementos a las Pruebas de Significación estadística y su aplicación en psicología. *Salud & Sociedad*. Agosto 2014, vol. 5, nº2, p:210-224.

## 7. APÈNDIX: PUBLICACIONS ANALITZADES

A continuació es presenta un llistat de totes les publicacions analitzades en aquest treball. El número de cada article fa referència al codi identificatiu que s'ha utilitzat a la base de dades.

### Optometry and Vision Science (OVS)

1: Pena-Verdeal H, García-Resúa C, Miñones M, Giraldez MJ, Yebra-Pimentel E. Accuracy of a Freezing Point Depression Technique Osmometer. *Optom Vis Sci.* 2015. Jul 8 [Epub ahead of print] PubMed PMID: 26164315.

6: Hong J, Yu Z, Jiang C, Zhou X, Liu Z, Sun X, Xu J. Corvis ST Tonometer for Measuring Postoperative IOP in LASIK Patients. *Optom Vis Sci.* 2015 May;92(5):589-95. doi: 10.1097/OPX.0000000000000575. PubMed PMID: 25871871.

7: Ogbuehi KC, Almaliki WH, AlQarni A, Osuagwu UL. Reliability and reproducibility of a handheld videorefractor. *Optom Vis Sci.* 2015 May;92(5):632-41. doi: 10.1097/OPX.0000000000000566. PubMed PMID: 25822015.

8: Ng JS, Self E, Vanston JE, Nguyen AL, Crognale MA. Evaluation of the Waggoner Computerized Color Vision Test. *Optom Vis Sci.* 2015 Apr;92(4):480-6. doi: 10.1097/OPX.0000000000000551. PubMed PMID: 25785530.

18: Lebow KA, Campbell CE. A comparison of a traditional and wavefront autorefraction. *Optom Vis Sci.* 2014 Oct;91(10):1191-8. doi: 10.1097/OPX.0000000000000378. PubMed PMID: 25198541.

36: Nakakura S, Mori E, Yamamoto M, Tsushima Y, Tabuchi H, Kiuchi Y. Intraocular pressure of supine patients using four portable tonometers. *Optom Vis Sci.* 2013 Jul;90(7):700-6. doi: 10.1097/OPX.0b013e3182972df4. PubMed PMID: 23708927.

41: Mercer ME, Drover JR, Penney KJ, Courage ML, Adams RJ. Comparison of Patti Pics and Lea Symbols optotypes in children and adults. *Optom Vis Sci.* 2013 Mar;90(3):236-41. doi: 10.1097/OPX.0b013e3182825eb7. PubMed PMID: 23376895.

42: Plainis S, Kontadakis G, Feloni E, Giannakopoulou T, Tsilimbaris MK, Pallikaris IG, Moschandreass J. Comparison of visual acuity charts in young adults and patients with diabetic retinopathy. *Optom Vis Sci.* 2013 Feb;90(2):174-8. doi: 10.1097/OPX.0b013e31827ce251. PubMed PMID: 23314130.

58: Patel NB, Wheat JL, Rodriguez A, Tran V, Harwerth RS. Agreement between retinal nerve fiber layer measures from Spectralis and Cirrus spectral domain OCT. *Optom Vis Sci.* 2012 May;89(5):E652-66. doi: 10.1097/OPX.0b013e318238c34e. PubMed PMID: 22105330; PubMed Central PMCID: PMC3299866.

63: Gursoy H, Sahin A, Basmak H, Ozer A, Yildirim N, Colak E. Lenstar versus ultrasound for ocular biometry in a pediatric population. *Optom Vis Sci.* 2011 Aug;88(8):912-9. doi: 10.1097/OPX.0b013e31821cc4d6. PubMed PMID: 21552178.

- 64: Read SA, Collins MJ, Alonso-Caneiro D. Validation of optical low coherence reflectometry retinal and choroidal biometry. *Optom Vis Sci.* 2011 Jul;88(7):855-63. doi: 10.1097/OPX.0b013e3182186a36. PubMed PMID: 21516051.
- 66: Lee YG, Kim JH, Kim NR, Kim CY, Lee ES. Comparison between Tonopachy and other tonometric and pachymetric devices. *Optom Vis Sci.* 2011 Jul;88(7):843-9. doi: 10.1097/OPX.0b013e31821896f1. PubMed PMID: 21499167.
- 68: Anderson AJ, Johnson CA, Werner JS. Measuring visual function in age-related macular degeneration with frequency-doubling (matrix) perimetry. *Optom Vis Sci.* 2011 Jul;88(7):806-15. doi: 10.1097/OPX.0b013e31821861bd. PubMed PMID: 21478785; PubMed Central PMCID: PMC3132570.
- 79: Keech A, Flanagan J, Simpson T, Jones L. Tear meniscus height determination using the OCT2 and the RTVue-100. *Optom Vis Sci.* 2009 Oct;86(10):1154-9. doi: 10.1097/OPX.0b013e3181bab0f5. PubMed PMID: 19741561.
- 85: Johnson C, Kran BS, Deng L, Mayer DL. Teller II and Cardiff Acuity testing in a school-age deafblind population. *Optom Vis Sci.* 2009 Mar;86(3):188-95. doi: 10.1097/OPX.0b013e318196bd35. PubMed PMID: 19214131.
- 86: Correction of Myopia Evaluation Trial 2 Study Group for the Pediatric Eye Disease Investigator Group, Manny RE, Chandler DL, Scheiman MM, Gwiazda JE, Cotter SA, Everett DF, Holmes JM, Hyman LG, Kulp MT, Lyon DW, Marsh-Tootle W, Matta N, Melia BM, Norton TT, Repka MX, Silbert DI, Weissberg EM. Accommodative lag by autorefraction and two dynamic retinoscopy methods. *Optom Vis Sci.* 2009 Mar;86(3):233-43. doi: 10.1097/OPX.0b013e318197180c. PubMed PMID: 19214130; PubMed Central PMCID: PMC2650735.
- 87: Lehman BM, Berntsen DA, Bailey MD, Zadnik K. Validation of optical coherence tomography-based crystalline lens thickness measurements in children. *Optom Vis Sci.* 2009 Mar;86(3):181-7. doi: 10.1097/OPX.0b013e318198198d. PubMed PMID: 19182701; PubMed Central PMCID: PMC2814774.
- 88: Su PF, Lo AY, Hu CY, Chang SW. Anterior chamber depth measurement in phakic and pseudophakic eyes. *Optom Vis Sci.* 2008 Dec;85(12):1193-200. doi: 10.1097/OPX.0b013e31818e8ceb. PubMed PMID: 19050474.
- 93: Weitkamp JW, Marsden HJ, Berke W, Daijo G. Agreement and repeatability of the Sonogage ultrasound pachometer compared with a Mitutoyo micrometer. *Optom Vis Sci.* 2008 May;85(5):359-63. doi: 10.1097/OPX.0b013e31816bf55d. PubMed PMID: 18451740.
- 96: Ogbuehi KC, Almubrad TM. Accuracy and reliability of the Keeler Pulsair EasyEye non-contact tonometer. *Optom Vis Sci.* 2008 Jan;85(1):61-6. doi: 10.1097/OPX.0b013e31815ed742. PubMed PMID: 18174841.
- 98: Lam A, Chen D, Chiu R, Chui WS. Comparison of IOP measurements between ORA and GAT in normal Chinese. *Optom Vis Sci.* 2007 Sep;84(9):909-14. PubMed PMID: 17873777.
- 100: Win-Hall DM, Ostrin LA, Kasthurirangan S, Glasser A. Objective accommodation measurement with the Grand Seiko and Hartinger coincidence refractometer. *Optom Vis Sci.* 2007 Sep;84(9):879-87. PubMed PMID: 17873774.
- 102: Pesudovs K, Parker KE, Cheng H, Applegate RA. The precision of wavefront refraction compared to subjective refraction and autorefraction. *Optom Vis Sci.* 2007 May;84(5):387-92. PubMed PMID: 17502821.
- 103: McClenaghan N, Kimura A, Stark LR. An evaluation of the M&S technologies smart system II for visual acuity measurement in young visually-normal adults. *Optom Vis Sci.* 2007 Mar;84(3):218-23. PubMed PMID: 17435535.

105: Virgili G, Angi M, Heede S, Rodriguez D, Bottega E, Molinari A. PowerRefractor versus Canon R-50 Autorefractor to assess refractive error in children: a community-based study in Ecuador. *Optom Vis Sci*. 2007 Feb;84(2):144-8. PubMed PMID: 17299345..

107: Martinez AA, Pandian A, Sankaridurg P, Rose K, Huynh SC, Mitchell P. Comparison of aberrometer and autorefractor measures of refractive error in children. *Optom Vis Sci*. 2006 Nov;83(11):811-7. PubMed PMID: 17106401.

110: García-Resúa C, González-Meijome JM, Gilino J, Yebra-Pimentel E. Accuracy of the new ICare rebound tonometer vs. other portable tonometers in healthy eyes. *Optom Vis Sci*. 2006 Feb;83(2):102-7. PubMed PMID: 16501412.

111: Johnson ME, Murphy PJ. The agreement and repeatability of tear meniscus height measurement methods. *Optom Vis Sci*. 2005 Dec;82(12):1030-7. PubMed PMID: 16357644.

## **Ophthalmic & Physiological Optics (OPO)**

2: Brussee T, van Nispen RM, Klerkx EM, Knol DL, van Rens GH. Comparison of reading performance tests concerning difficulty of sentences and paragraphs and their reliability. *Ophthalmic Physiol Opt*. 2015 May;35(3):324-35. doi: 10.1111/opo.12204. PubMed PMID: 25913875.

4: Jindal A, Myint J, Edgar DF, Nolan WP, Lawrenson JG. Agreement among optometrists and ophthalmologists in estimating limbal anterior chamber depth using the van Herick method. *Ophthalmic Physiol Opt*. 2015 Mar;35(2):179-85. doi: 10.1111/opo.12199. Epub 2015 Feb 12. PubMed PMID: 25684241.

5: Sayegh RR, Dohlman CH, Greenstein SH, Peli E. The Boston keratoprosthesis provides a wide depth of focus. *Ophthalmic Physiol Opt*. 2015 Jan;35(1):39-44. doi: 10.1111/opo.12181. Epub 2014 Nov 25. PubMed PMID: 25424372.

7: Tang WC, Tang YY, Lam CS. How representative is the 'Representative Value' of refraction provided by the Shin-Nippon NVision-K 5001 autorefractor? *Ophthalmic Physiol Opt*. 2014 Jan;34(1):89-93. doi: 10.1111/opo.12098. PubMed PMID: 24325438.

12: Tajbakhsh Z, Salouti R, Nowroozzadeh MH, Aghazadeh-Amiri M, Tabatabaee S, Zamani M. Comparison of keratometry measurements using the Pentacam HR, the Orbscan IIz, and the TMS-4 topographer. *Ophthalmic Physiol Opt*. 2012 Nov;32(6):539-46. doi: 10.1111/j.1475-1313.2012.00942.x. PubMed PMID: 23057566.

17: Jinabhai A, Neil Charman W, O'Donnell C, Radhakrishnan H. Optical quality for keratoconic eyes with conventional RGP lens and simulated, customised contact lens corrections: a comparison. *Ophthalmic Physiol Opt*. 2012 May;32(3):200-12. doi: 10.1111/j.1475-1313.2012.00904.x. Erratum in: *Ophthalmic Physiol Opt*. 2012 Jul;32(4):362. PubMed PMID: 22512372.

18: Flores-Rodríguez P, Gili P, Martín-Ríos MD. Sensitivity and specificity of time-domain and spectral-domain optical coherence tomography in differentiating optic nerve head drusen and optic disc oedema. *Ophthalmic Physiol Opt*. 2012 May;32(3):213-21. doi: 10.1111/j.1475-1313.2012.00902.x. Epub 2012 Mar 16. PubMed PMID: 22428958.

19: León AA, Medrano SM, Rosenfield M. A comparison of the reliability of dynamic retinoscopy and subjective measurements of amplitude of accommodation. *Ophthalmic Physiol Opt*. 2012 Mar;32(2):133-41. doi: 10.1111/j.1475-1313.2012.00891.x. Epub 2012 Jan 23. PubMed PMID: 22268597.

- 23: Jorge J, Fernandes P, Queirós A, Ribeiro P, Ferreira A, Gonzalez-Meijome JM. Clinical evaluation of the IOPen® in a glaucomatous population. *Ophthalmic Physiol Opt.* 2010 Nov;30(6):860-4. doi: 10.1111/j.1475-1313.2010.00783.x. PubMed PMID: 21205273.
- 24: Wee SH, Yu DS, Moon BY, Cho HG. Comparison of presbyopic additions determined by the fused cross-cylinder method using alternative target background colours. *Ophthalmic Physiol Opt.* 2010 Nov;30(6):758-65. doi: 10.1111/j.1475-1313.2010.00780.x. PubMed PMID: 21205261.
- 29: Cerviño A, Gonzalez-Meijome JM, Ferrer-Blasco T, Garcia-Resua C, Montes-Mico R, Parafita M. Determination of corneal volume from anterior topography and topographic pachymetry: application to healthy and keratoconic eyes. *Ophthalmic Physiol Opt.* 2009 Nov;29(6):652-60. doi: 10.1111/j.1475-1313.2009.00642.x. PubMed PMID: 19821928.
- 30: Carrim ZI, Lavy TE. Goldmann tonometry versus the Tono-Pen XL for intraocular pressure measurement: an evaluation of the potential impact on clinical decision making in glaucoma. *Ophthalmic Physiol Opt.* 2009 Nov;29(6):648-51. doi: 10.1111/j.1475-1313.2009.00680.x. PubMed PMID: 19821927.
- 34: Wang K, Yuan MK, Jiang YR, Bao YZ, Li XX. Axial length measurements before and after removal of silicone oil: a new method to correct the axial length of silicone-filled eyes for optical biometry. *Ophthalmic Physiol Opt.* 2009 Jul;29(4):449-57. doi: 10.1111/j.1475-1313.2009.00636.x. PubMed PMID: 19523089.
- 36: Cleary G, Spalton DJ, Patel PM, Lin PF, Marshall J. Diagnostic accuracy and variability of autorefractometry by the Tracey Visual Function Analyzer and the Shin-Nippon NVision-K 5001 in relation to subjective refraction. *Ophthalmic Physiol Opt.* 2009 Mar;29(2):173-81. doi: 10.1111/j.1475-1313.2008.00627.x. PubMed PMID: 19236587.
- 41: Diaz A, Yebra-Pimentel E, Resua CG, Gilino J, Giraldez MJ. Accuracy of the ICare rebound tonometer in glaucomatous eyes with topical ocular hypotensive medication. *Ophthalmic Physiol Opt.* 2008 Jan;28(1):29-34. doi: 10.1111/j.1475-1313.2007.00526.x. PubMed PMID: 18201333.
- 46: Queirós A, González-Méijome JM, Fernandes P, Jorge J, Montés-Micó R, Almeida JB, Parafita MA. Technical note: a comparison of central and peripheral intraocular pressure using rebound tonometry. *Ophthalmic Physiol Opt.* 2007 Sep;27(5):506-11. PubMed PMID: 17718891.
- 48: Yu BS, Lam AK. Technical note: How many readings are required for an acceptable accuracy in pulsatile ocular blood flow assessment? *Ophthalmic Physiol Opt.* 2007 Mar;27(2):213-9. PubMed PMID: 17324213.
- 53: Fernandes P, Díaz-Rey JA, Queirós A, Gonzalez-Meijome JM, Jorge J. Comparison of the ICare rebound tonometer with the Goldmann tonometer in a normal population. *Ophthalmic Physiol Opt.* 2005 Sep;25(5):436-40. PubMed PMID: 16101950.
- 54: van der Jagt LH, Jansonius NM. Three portable tonometers, the TGDc-01, the ICARE and the Tonopen XL, compared with each other and with Goldmann applanation tonometry\*. *Ophthalmic Physiol Opt.* 2005 Sep;25(5):429-35. PubMed PMID: 16101949.
- 59: Ahmed I, Toufееq A. Accuracy of intraoperative retinoscopy in corneal power and axial length estimation using a high plus soft contact lens. *Ophthalmic Physiol Opt.* 2005 Jan;25(1):52-6. PubMed PMID: 15649183.
- 60: Hrynchak P, Hutchings N, Jones D, Simpson T. A comparison of cup-to-disc ratio measurement in normal subjects using optical coherence tomography image analysis of the optic nerve head and stereo fundus biomicroscopy. *Ophthalmic Physiol Opt.* 2004 Nov;24(6):543-50. PubMed PMID: 15491482.
- 62: Rouse MW, Borsting EJ, Mitchell GL, Scheiman M, Cotter SA, Cooper J, Kulp MT, London R, Wensveen J; Convergence Insufficiency Treatment Trial Group. Validity and reliability of the revised convergence

insufficiency symptom survey in adults. *Ophthalmic Physiol Opt.* 2004 Sep;24(5):384-90. PubMed PMID: 15315652.

65: Jones D, Westall C, Averbek K, Abdolell M. Visual acuity assessment: a comparison of two tests for measuring children's vision. *Ophthalmic Physiol Opt.* 2003 Nov;23(6):541-6. PubMed PMID: 14622358.

67: Jorge J, González-Méijome JM, Díaz-Rey JA, Almeida JB, Ribeiro P, Parafita MA. Clinical performance of non-contact tonometry by Reichert AT550 in glaucomatous patients. *Ophthalmic Physiol Opt.* 2003 Nov;23(6):503-6. PubMed PMID: 14622352.

71: Jorge J, Díaz-Rey JA, González-Méijome JM, Almeida JB, Parafita MA. Clinical performance of the Reichert AT550: a new non-contact tonometer. *Ophthalmic Physiol Opt.* 2002 Nov;22(6):560-4. PubMed PMID: 12477021.

74: García A, Cacho P. MEM and Nott dynamic retinoscopy in patients with disorders of vergence and accommodation. *Ophthalmic Physiol Opt.* 2002 May;22(3):214-20. PubMed PMID: 12090636.

79: Siderov J, Chiu SC, Waugh SJ. Differences in the nearpoint of convergence with target type. *Ophthalmic Physiol Opt.* 2001 Sep;21(5):356-60. PubMed PMID: 11563422.

82: Yang YC, Illango B, Cook A, Batterbury M. Intraocular pressure and pulse rate measurements by the OBF tonograph--comparison to reference instruments. *Ophthalmic Physiol Opt.* 2000 Sep;20(5):401-7. PubMed PMID: 11045249.

## **Journal of Refractive Surgery (JRS)**

1: Reinstein DZ, Yap TE, Archer TJ, Gobbe M, Silverman RH. Comparison of Corneal Epithelial Thickness Measurement Between Fourier-Domain OCT and Very High-Frequency Digital Ultrasound. *J Refract Surg.* 2015 Jul 1;31(7):438-445. doi: 10.3928/1081597X-20150623-01. PubMed PMID: 26186562..

3: Soeken TA, Apsey DA, Townley JR, Haas RW, Caldwell MC. Comparison of pachymetry measurements between the Alcon Wavelight EX500 and SonogageCorneo-Gage plus platforms. *J Refract Surg.* 2015 May;31(5):328-32. doi: 10.3928/1081597X-20150423-06. PubMed PMID: 25974972.

8: Delrivo M, Ruiseñor Vázquez PR, Galletti JD, Garibotto M, Fuentes Bonthoux F, Pfortner T, Galletti JG. Agreement between placido topography and Scheimpflug tomography for corneal astigmatism assessment. *J Refract Surg.* 2014 Jan;30(1):49-53. PubMed PMID: 24864328.

12: Ramos IC, Correa R, Guerra FP, Trattler W, Belin MW, Klyce SD, Fontes BM, Schor P, Smolek MK, Dawson DG, Chalita MR, Casal JO, Ruiz M, Randleman JB, Ambrósio R Jr. Variability of subjective classifications of corneal topography maps from LASIK candidates. *J Refract Surg.* 2013 Nov;29(11):770-5. doi: 10.3928/1081597X-20130823-01. Epub 2013 Aug 30. PubMed PMID: 23980708.

13: Savini G, Hoffer KJ, Carbonelli M. Anterior chamber and aqueous depth measurement in pseudophakic eyes: agreement between ultrasound biometry and scheimpflug imaging. *J Refract Surg.* 2013 Feb;29(2):121-5. doi: 10.3928/1081597X-20130117-07. PubMed PMID: 23380413.

14: Lee BW, Galor A, Feuer WJ, Pouyeh B, Pelletier JS, Vaddavalli PK, Lemelman BT, See C, Yoo SH. Agreement between Pentacam and IOL master in patients undergoing toric IOL implantation. *J Refract Surg.* 2013 Feb;29(2):114-20. doi: 10.3928/1081597X-20130117-06. PubMed PMID: 23380412.



- 15: Kanellopoulos AJ, Asimellis G. Correlation between central corneal thickness, anterior chamber depth, and corneal keratometry as measured by Oculyzer II and WaveLight OB820 in preoperative cataract surgery patients. *J Refract Surg.* 2012 Dec;28(12):895-900. doi: 10.3928/1081597X-20121005-07. Epub 2012 Oct 22. PubMed PMID: 23092131.
- 16: Gonen T, Cosar CB, Sener B, Keskinbora KH. Comparison of keratometric data obtained by automated keratometer, Dicon CT 200, Allegro Topolyzer, and Pentacam. *J Refract Surg.* 2012 Aug;28(8):557-61. doi: 10.3928/1081597X-20120723-04. PubMed PMID: 22869234.
- 17: Mencucci R, Paladini I, Virgili G, Giacomelli G, Menchini U. Corneal thickness measurements using time-domain anterior segment OCT, ultrasound, and Scheimpflug tomographer pachymetry before and after corneal cross-linking for keratoconus. *J Refract Surg.* 2012 Aug;28(8):562-6. doi: 10.3928/1081597X-20120703-02. Epub 2012 Jul 13. PubMed PMID: 22785060.
- 22: Karimian F, Feizi S, Doozandeh A, Faramarzi A, Yaseri M. Comparison of corneal tomography measurements using Galilei, Orbscan II, and Placido disk-based topographer systems. *J Refract Surg.* 2011 Jul;27(7):502-8. doi: 10.3928/1081597X-20101210-02. Epub 2010 Dec 15. PubMed PMID: 21188959.
- 23: Rosa N, De Bernardo M, Borrelli M, Filosa ML, Minutillo E, Lanza M. Reliability of the IOLMaster in measuring corneal power changes after hyperopic photorefractive keratectomy. *J Refract Surg.* 2011 Apr;27(4):293-8. doi: 10.3928/1081597X-20100707-01. Epub 2010 Jul 15. PubMed PMID: 20672764.
- 24: McAlinden C, Moore JE. Higher order aberrations using the NIDEK OPD-Scan and AMOWaveScan. *J Refract Surg.* 2010 Aug;26(8):605-8. doi: 10.3928/1081597X-20100407-02. PubMed PMID: 20438022.
- 26: Yazici AT, Bozkurt E, Alagoz C, Alagoz N, Pekel G, Kaya V, Yilmaz OF. Central corneal thickness, anterior chamber depth, and pupil diameter measurements using Visante OCT, Orbscan, and Pentacam. *J Refract Surg.* 2010 Feb;26(2):127-33. doi: 10.3928/1081597X-20100121-08. Epub 2010 Feb 12. PubMed PMID: 20163077.
- 27: Kim SK, Kim HM, Song JS. Comparison of internal anterior chamber diameter imaging modalities: 35-MHz ultrasound biomicroscopy, Visante optical coherence tomography, and Pentacam. *J Refract Surg.* 2010 Feb;26(2):120-6. doi: 10.3928/1081597X-20100121-07. Epub 2010 Feb 12. PubMed PMID: 20163076.
- 28: Piñero DP, Puche AB, Alió JL. Ciliary sulcus diameter and two anterior chamber parameters measured by optical coherence tomography and VHF ultrasound. *J Refract Surg.* 2009 Nov;25(11):1017-25. doi: 10.3928/1081597X-20091016-08. Epub 2009 Nov 13. PubMed PMID: 19921771.
- 30: Savini G, Barboni P, Carbonelli M, Hoffer KJ. Agreement between Pentacam and videokeratography in corneal power assessment. *J Refract Surg.* 2009 Jun;25(6):534-8. PubMed PMID: 19603621.
- 33: Cheng AC, Ho T, Lau S, Wong AL, Leung C, Lam DS. Measurement of LASIK flap thickness with anterior segment optical coherence tomography. *J Refract Surg.* 2008 Nov;24(9):879-84. PubMed PMID: 19044227.
- 35: Savant V, Chavan R, Pushpoth S, Ilango B. Comparability and intra-/interobserver reliability of anterior chamber depth measurements with the Pentacam and IOLMaster. *J Refract Surg.* 2008 Jun;24(6):615-8. PubMed PMID: 18581788.
- 37: Cheng AC, Rao SK, Lau S, Leung CK, Lam DS. Central corneal thickness measurements by ultrasound, Orbscan II, and Visante OCT after LASIK for myopia. *J Refract Surg.* 2008 Apr;24(4):361-5. PubMed PMID: 18500085.
- 41: Cervino A, Hosking SL, Rai GK, Naroo SA, Gilmartin B. Wavefront analyzers induce instrument myopia. *J Refract Surg.* 2006 Oct;22(8):795-803. PubMed PMID: 17061717.

42: Much MM, Haigis W. Ultrasound and partial coherence interferometry with measurement of central corneal thickness. J Refract Surg. 2006 Sep;22(7):665-70. PubMed PMID: 16995548.

44: Bragheeth MA, Dua HS. Effect of refractive and topographic astigmatic axis on LASIK correction of myopic astigmatism. J Refract Surg. 2005 May-Jun;21(3):269-75. PubMed PMID: 15977884

47: Lai S, Gomez N, Wei J. Method of determining a patient's subjective refraction based on objective measurement. J Refract Surg. 2004 Sep-Oct;20(5):S528-32. PubMed PMID: 15523970.

49: Nichols JJ, Kosunick GM, Bullimore MA. Reliability of corneal thickness and endothelial cell density measures. J Refract Surg. 2003 May-Jun;19(3):344-52. PubMed PMID: 12777031.

51: Karabatsas CH, Cook SD, Powell K, Sparrow JM. Comparison of keratometry and videokeratography after penetrating keratoplasty. J Refract Surg. 1998 Jul-Aug;14(4):420-6. PubMed PMID: 9699166.

### **Journal of Cataract & Refractive Surgery (JCRS)**

1: Lee YW, Choi CY, Yoon GY. Comparison of dual rotating Scheimpflug-Placido, swept-source optical coherence tomography, and Placido-scanning-slit systems. J Cataract Refract Surg. 2015 May;41(5):1018-29. doi: 10.1016/j.jcrs.2014.08.040. PubMed PMID: 26049835.

3: Srivannaboon S, Chirapapaisan C, Chonpimai P, Koodkaew S. Comparison of corneal astigmatism measurements of 2 optical biometer models for toric intraocular lens selection. J Cataract Refract Surg. 2015 Feb;41(2):364-71. doi: 10.1016/j.jcrs.2014.06.029. PubMed PMID: 25661130.

4: Randleman JB, Akhtar J, Lynn MJ, Ambrósio R Jr, Dupps WJ Jr, Krueger RR, Klyce SD. Comparison of objective and subjective refractive surgery screening parameters between regular and high-resolution Scheimpflug imaging devices. J Cataract Refract Surg. 2015 Feb;41(2):286-94. doi: 10.1016/j.jcrs.2014.06.026. Epub 2014 Dec 20. PubMed PMID: 25537685.

7: Savini G, Calossi A, Camellin M, Carones F, Fantozzi M, Hoffer KJ. Corneal ray tracing versus simulated keratometry for estimating corneal power changes after excimer laser surgery. J Cataract Refract Surg. 2014 Jul;40(7):1109-15. doi: 10.1016/j.jcrs.2013.11.032. Epub 2014 May 27. PubMed PMID: 24874768.

8: Huerva V, Ascaso FJ, Soldevila J, Lavilla L. Comparison of anterior segment measurements with optical low-coherence reflectometry and rotating dual Scheimpflug analysis. J Cataract Refract Surg. 2014 Jul;40(7):1170-6. doi: 10.1016/j.jcrs.2013.10.045. Epub 2014 May 20. PubMed PMID: 24852197.

10: Kaswin G, Rousseau A, Mgarrech M, Barreau E, Labetoulle M. Biometry and intraocular lens power calculation results with a new optical biometry device: comparison with the gold standard. J Cataract Refract Surg. 2014 Apr;40(4):593-600. doi: 10.1016/j.jcrs.2013.09.015. PubMed PMID: 24680520.

20: Reinstein DZ, Morral M, Gobbe M, Archer TJ. Accuracy of refractive outcomes in myopic and hyperopic laser in situ keratomileusis: Manifest versus aberrometric refraction. J Cataract Refract Surg. 2012 Nov;38(11):1989-95. doi: 10.1016/j.jcrs.2012.05.045. PubMed PMID: 23079314..

22: Labiris G, Giarmoukakis A, Sideroudi H, Bougatsou P, Lazaridis I, Kozobolis VP. Variability in Scheimpflug image-derived posterior elevation measurements in keratoconus and collagen-crosslinked corneas. J Cataract Refract Surg. 2012 Sep;38(9):1616-25. doi: 10.1016/j.jcrs.2012.04.039. PubMed PMID: 22906447.

- 23: Piñero DP, Camps VJ, Mateo V, Ruiz-Fortes P. Clinical validation of an algorithm to correct the error in the keratometric estimation of corneal power in normal eyes. *J Cataract Refract Surg.* 2012 Aug;38(8):1333-8. doi: 10.1016/j.jcrs.2012.03.026. PubMed PMID: 22814040.
- 24: Lee H, Chung JL, Kim EK, Sgrignoli B, Kim TI. Univariate and bivariate polar value analysis of corneal astigmatism measurements obtained with 6 instruments. *J Cataract Refract Surg.* 2012 Sep;38(9):1608-15. doi: 10.1016/j.jcrs.2012.04.035. Epub 2012 Jul 15. PubMed PMID: 22795977.
- 27: Shen P, Ding X, Congdon NG, Zheng Y, He M. Comparison of anterior ocular biometry between optical low-coherence reflectometry and anterior segment optical coherence tomography in an adult Chinese population. *J Cataract Refract Surg.* 2012 Jun;38(6):966-70. doi: 10.1016/j.jcrs.2011.12.031. PubMed PMID: 22624895.
- 28: Nakakura S, Mori E, Nagatomi N, Tabuchi H, Kiuchi Y. Comparison of anterior chamber depth measurements by 3-dimensional optical coherence tomography, partial coherence interferometry biometry, Scheimpflug rotating camera imaging, and ultrasound biomicroscopy. *J Cataract Refract Surg.* 2012 Jul;38(7):1207-13. doi: 10.1016/j.jcrs.2012.02.036. Epub 2012 May 19. PubMed PMID: 22613688.
- 34: Savini G, Carbonelli M, Sbreghia A, Barboni P, Deluigi G, Hoffer KJ. Comparison of anterior segment measurements by 3 Scheimpflug tomographers and 1 Placido corneal topographer. *J Cataract Refract Surg.* 2011 Sep;37(9):1679-85. doi: 10.1016/j.jcrs.2011.03.055. PubMed PMID: 21855765.
- 37: Dooley I, Charalampidou S, Nolan J, Loughman J, Molloy L, Beatty S. Estimation of effective lens position using a method independent of preoperative keratometry readings. *J Cataract Refract Surg.* 2011 Mar;37(3):506-12. doi: 10.1016/j.jcrs.2010.09.027. PubMed PMID: 21333875.
- 38: Huang J, Pesudovs K, Wen D, Chen S, Wright T, Wang X, Li Y, Wang Q. Comparison of anterior segment measurements with rotating Scheimpflug photography and partial coherence reflectometry. *J Cataract Refract Surg.* 2011 Feb;37(2):341-8. doi: 10.1016/j.jcrs.2010.08.044. PubMed PMID: 21241919.
- 40: Symes RJ, Ursell PG. Automated keratometry in routine cataract surgery: comparison of Scheimpflug and conventional values. *J Cataract Refract Surg.* 2011 Feb;37(2):295-301. doi: 10.1016/j.jcrs.2010.08.050. PubMed PMID: 21241912.
- 41: Lenhart PD, Hutchinson AK, Lynn MJ, Lambert SR. Partial coherence interferometry versus immersion ultrasonography for axial length measurement in children. *J Cataract Refract Surg.* 2010 Dec;36(12):2100-4. doi: 10.1016/j.jcrs.2010.07.013. PubMed PMID: 21111313; PubMed Central PMCID: PMC2991047.
- 42: Faramarzi A, Karimian F, Jafarinasab MR, JabbarpoorBonyadi MH, Yaseri M. Central corneal thickness measurements after myopic photorefractive keratectomy using Scheimpflug imaging, scanning-slit topography, and ultrasonic pachymetry. *J Cataract Refract Surg.* 2010 Sep;36(9):1543-9. doi: 10.1016/j.jcrs.2010.03.042. PubMed PMID: 20692568.
- 43: Shamma HJ, Chan S. Precision of biometry, keratometry, and refractive measurements with a partial coherence interferometry-keratometry device. *J Cataract Refract Surg.* 2010 Sep;36(9):1474-8. doi: 10.1016/j.jcrs.2010.02.027. PubMed PMID: 20692557.
- 46: Cleary G, Spalton DJ, Marshall J. Anterior chamber depth measurements in eyes with an accommodating intraocular lens: agreement between partial coherence interferometry and optical coherence tomography. *J Cataract Refract Surg.* 2010 May;36(5):790-8. doi: 10.1016/j.jcrs.2009.11.028. PubMed PMID: 20457371.
- 47: Lam AK, Wu R, Wang Z, Woo V, Chan E, Tam K, Chau R, Wong KK. Effect of laser in situ keratomileusis on rebound tonometry and Goldmann applanation tonometry. *J Cataract Refract Surg.* 2010 Apr;36(4):631-6. doi: 10.1016/j.jcrs.2009.10.045. PubMed PMID: 20362856.

49: Gupta N, Wolffsohn JS, Naroo SA. Comparison of near visual acuity and reading metrics in presbyopia correction. *J Cataract Refract Surg.* 2009 Aug;35(8):1401-9. doi: 10.1016/j.jcrs.2009.03.026. PubMed PMID: 19631128.

51: Prospero Ponce CM, Rocha KM, Smith SD, Krueger RR. Central and peripheral corneal thickness measured with optical coherence tomography, Scheimpflug imaging, and ultrasound pachymetry in normal, keratoconus-suspect, and post-laser in situ keratomileusis eyes. *J Cataract Refract Surg.* 2009 Jun;35(6):1055-62. doi: 10.1016/j.jcrs.2009.01.022. PubMed PMID: 19465292.

52: Salouti R, Nowroozzadeh MH, Zamani M, Fard AH, Niknam S. Comparison of anterior and posterior elevation map measurements between 2 Scheimpflug imaging systems. *J Cataract Refract Surg.* 2009 May;35(5):856-62. doi: 10.1016/j.jcrs.2009.01.008. PubMed PMID: 19393884.

54: Lara F, Fernández-Sánchez V, López-Gil N, Cerviño A, Montés-Micó R. Comparison of partial coherence interferometry and ultrasound for anterior segment biometry. *J Cataract Refract Surg.* 2009 Feb;35(2):324-9. doi: 10.1016/j.jcrs.2008.10.038. PubMed PMID: 19185250.

56: Win-Hall DM, Glasser A. Objective accommodation measurements in pseudophakic subjects using an autorefractor and an aberrometer. *J Cataract Refract Surg.* 2009 Feb;35(2):282-90. doi: 10.1016/j.jcrs.2008.10.033. PubMed PMID: 19185244; PubMed Central PMCID: PMC2730753.

## **Investigative Ophthalmology & Visual Science (IOVS)**

3: Rodriguez JD, Lane KJ, Ousler GW 3rd, Angjeli E, Smith LM, Abelson MB. Automated Grading System for Evaluation of Superficial Punctate Keratitis Associated With Dry Eye. *Invest Ophthalmol Vis Sci.* 2015 Apr 1;56(4):2340-7. doi: 10.1167/iovs.14-15318. PubMed PMID: 26066593.

4: Zhang L, Buitendijk GH, Lee K, Sonka M, Springelkamp H, Hofman A, Vingerling JR, Mullins RF, Klaver CC, Abramoff MD. Validity of Automated Choroidal Segmentation in SS-OCT and SD-OCT. *Invest Ophthalmol Vis Sci.* 2015 May 1;56(5):3202-11. doi: 10.1167/iovs.14-15669. PubMed PMID: 26024104; PubMed Central PMCID: PMC4451615.

12: Banegas SA, Antón A, Morilla-Grasa A, Bogado M, Ayala EM, Moreno-Montañes J. Agreement among spectral-domain optical coherence tomography, standard automated perimetry, and stereophotography in the detection of glaucoma progression. *Invest Ophthalmol Vis Sci.* 2015 Jan 27;56(2):1253-60. doi: 10.1167/iovs.14-14994. PubMed PMID: 25626965.

16: Hirasawa K, Shoji N, Yoshii Y, Haraguchi S. Comparison of Kang's and Littmann's methods of correction for ocular magnification in circumpapillary retinal nerve fiber layer measurement. *Invest Ophthalmol Vis Sci.* 2014 Nov 20;55(12):8353-8. doi: 10.1167/iovs.14-15720. PubMed PMID: 25414183.

18: Cottrell P, Ahmed S, James C, Hodson J, McDonnell PJ, Rauz S, Williams GP. Neuron J is a rapid and reliable open source tool for evaluating corneal nervem density in herpes simplex keratitis. *Invest Ophthalmol Vis Sci.* 2014 Oct 16;55(11):7312-20. doi: 10.1167/iovs.14-15140. PubMed PMID: 25324286.

40: Lee JY, Chiu SJ, Srinivasan PP, Izatt JA, Toth CA, Farsiu S, Jaffe GJ. Fully automatic software for retinal thickness in eyes with diabetic macular edema from images acquired by cirrus and spectralis systems. *Invest Ophthalmol Vis Sci.* 2013 Nov 15;54(12):7595-602. doi: 10.1167/iovs.13-11762. PubMed PMID: 24084089; PubMed Central PMCID: PMC4428560.

- 44: Marziani E, Pomati S, Ramolfo P, Cigada M, Giani A, Mariani C, Staurenghi G. Evaluation of retinal nerve fiber layer and ganglion cell layer thickness in Alzheimer's disease using spectral-domain optical coherence tomography. *Invest Ophthalmol Vis Sci*. 2013 Sep 5;54(9):5953-8. doi: 10.1167/iops.13-12046. PubMed PMID: 23920375.
- 54: Yang HK, Seo JM, Hwang JM, Kim KG. Automated analysis of binocular alignment using an infrared camera and selective wavelength filter. *Invest Ophthalmol Vis Sci*. 2013 Apr 17;54(4):2733-7. doi: 10.1167/iops.12-11400. PubMed PMID: 23538061.
- 58: Yehoshua Z, Gregori G, Sadda SR, Penha FM, Goldhardt R, Nittala MG, Konduru RK, Feuer WJ, Gupta P, Li Y, Rosenfeld PJ. Comparison of drusen area detected by spectral domain optical coherence tomography and color fundus imaging. *Invest Ophthalmol Vis Sci*. 2013 Apr 3;54(4):2429-34. doi: 10.1167/iops.12-11569. PubMed PMID: 23471895; PubMed Central PMCID: PMC3623598.
- 64: Hong J, Xu J, Wei A, Deng SX, Cui X, Yu X, Sun X. A new tonometer--the Corvis ST tonometer: clinical comparison with noncontact and Goldmann applanation tonometers. *Invest Ophthalmol Vis Sci*. 2013 Jan 23;54(1):659-65. doi: 10.1167/iops.12-10984. PubMed PMID: 23307970.
- 69: Nittala MG, Ruiz-Garcia H, Sadda SR. Accuracy and reproducibility of automated drusen segmentation in eyes with non-neovascular age-related macular degeneration. *Invest Ophthalmol Vis Sci*. 2012 Dec 17;53(13):8319-24. doi: 10.1167/iops.12-10582. PubMed PMID: 23150629.
- 76: Werkmeister RM, Dragostinoff N, Palkovits S, Told R, Boltz A, Leitgeb RA, Gröschl M, Garhöfer G, Schmetterer L. Measurement of absolute blood flow velocity and blood flow in the human retina by dual-beam bidirectional Doppler fourier-domain optical coherence tomography. *Invest Ophthalmol Vis Sci*. 2012 Sep 12;53(10):6062-71. doi: 10.1167/iops.12-9514. PubMed PMID: 22893675.
- 79: Pierro L, Gagliardi M, Iuliano L, Ambrosi A, Bandello F. Retinal nerve fiber layer thickness reproducibility using seven different OCT instruments. *Invest Ophthalmol Vis Sci*. 2012 Aug 31;53(9):5912-20. doi: 10.1167/iops.11-8644. PubMed PMID: 22871835.
- 81: Quek DT, Narayanaswamy AK, Tun TA, Htoon HM, Baskaran M, Perera SA, Aung T. Comparison of two spectral domain optical coherence tomography devices for angle-closure assessment. *Invest Ophthalmol Vis Sci*. 2012 Aug 3;53(9):5131-6. doi: 10.1167/iops.12-10132. PubMed PMID: 22786910.
- 83: Kim CY, Jung JW, Lee SY, Kim NR. Agreement of retinal nerve fiber layer color codes between Stratus and Cirrus OCT according to glaucoma severity. *Invest Ophthalmol Vis Sci*. 2012 May 31;53(6):3193-200. doi: 10.1167/iops.12-9440. PubMed PMID: 22499986.
- 90: Kim J, Nam KW, Jang IG, Yang HK, Kim KG, Hwang JM. Nintendo Wii remote controllers for head posture measurement: accuracy, validity, and reliability of the infrared optical head tracker. *Invest Ophthalmol Vis Sci*. 2012 Mar 15;53(3):1388-96. doi: 10.1167/iops.11-8329. PubMed PMID: 22297495.
- 95: Shin YU, Kim S, Lee BR, Shin JW, Kim SI. Novel noninvasive detection of the fovea avascular zone using confocal red-free imaging in diabetic retinopathy and retinal vein occlusion. *Invest Ophthalmol Vis Sci*. 2012 Jan 25;53(1):309-15. doi: 10.1167/iops.11-8510. PubMed PMID: 22159009.
- 102: Rozema JJ, Atchison DA, Tassignon MJ. Comparing methods to estimate the human lens power. *Invest Ophthalmol Vis Sci*. 2011 Oct 7;52(11):7937-42. doi: 10.1167/iops.11-7899. Erratum in: *Invest Ophthalmol Vis Sci*. 2012 Mar;53(3):1151. PubMed PMID: 21873657.
- 107: Ikuno Y, Maruko I, Yasuno Y, Miura M, Sekiryu T, Nishida K, Iida T. Reproducibility of retinal and choroidal thickness measurements in enhanced depth imaging and high-penetration optical coherence

tomography. *Invest Ophthalmol Vis Sci.* 2011 Jul 25;52(8):5536-40. doi: 10.1167/iops.10-6811. PubMed PMID: 21508114.

113: Feizi S, Hashemloo A, Rastegarpour A. Comparison of the ocular response analyzer and the Goldmann applanation tonometer for measuring intraocular pressure after deep anterior lamellar keratoplasty. *Invest Ophthalmol Vis Sci.* 2011 Jul 29;52(8):5887-91. doi: 10.1167/iops.10-6771. PubMed PMID: 21447674

119: Langenegger SJ, Funk J, Töteberg-Harms M. Reproducibility of retinal nerve fiber layer thickness measurements using the eye tracker and the retest function of Spectralis SD-OCT in glaucomatous and healthy control eyes. *Invest Ophthalmol Vis Sci.* 2011 May 18;52(6):3338-44. doi: 10.1167/iops.10-6611. PubMed PMID: 21330656.

146: Moreno-Montañés J, Olmo N, Alvarez A, García N, Zarranz-Ventura J. Cirrus high-definition optical coherence tomography compared with Stratus optical coherence tomography in glaucoma diagnosis. *Invest Ophthalmol Vis Sci.* 2010 Jan;51(1):335-43. doi: 10.1167/iops.08-2988. Epub 2009 Sep 8. PubMed PMID: 19737881.

154: Keane PA, Liakopoulos S, Jivrajka RV, Chang KT, Alasil T, Walsh AC, Sadda SR. Evaluation of optical coherence tomography retinal thickness parameters for use in clinical trials for neovascular age-related macular degeneration. *Invest Ophthalmol Vis Sci.* 2009 Jul;50(7):3378-85. doi: 10.1167/iops.08-2728. Epub 2009 Mar 5. PubMed PMID: 19264895.

157: Ng M, Racette L, Pascual JP, Liebmann JM, Girkin CA, Lovell SL, Zangwill LM, Weinreb RN, Sample PA. Comparing the full-threshold and Swedish interactive thresholding algorithms for short-wavelength automated perimetry. *Invest Ophthalmol Vis Sci.* 2009 Apr;50(4):1726-33. doi: 10.1167/iops.08-2718. Epub 2008 Dec 13. PubMed PMID: 19074800; PubMed Central PMCID: PMC2716113.

163: Zeng Y, Liu Y, Liu X, Chen C, Xia Y, Lu M, He M. Comparison of lens thickness measurements using the anterior segment optical coherence tomography and A-scan ultrasonography. *Invest Ophthalmol Vis Sci.* 2009 Jan;50(1):290-4. doi: 10.1167/iops.07-1216. Epub 2008 Sep 4. PubMed PMID: 18775858.

170: Leung CK, Li H, Weinreb RN, Liu J, Cheung CY, Lai RY, Pang CP, Lam DS. Anterior chamber angle measurement with anterior segment optical coherence tomography: a comparison between slit lamp OCT and Visante OCT. *Invest Ophthalmol Vis Sci.* 2008 Aug;49(8):3469-74. doi: 10.1167/iops.07-1477. Epub 2008 Apr 11. PubMed PMID: 18408181.

172: Boehm AG, Weber A, Pillunat LE, Koch R, Spoerl E. Dynamic contour tonometry in comparison to intracameral IOP measurements. *Invest Ophthalmol Vis Sci.* 2008 Jun;49(6):2472-7. doi: 10.1167/iops.07-1366. Epub 2008 Mar 3. PubMed PMID: 18316699.

175: Leung CK, Cheng AC, Chong KK, Leung KS, Mohamed S, Lau CS, Cheung CY, Chu GC, Lai RY, Pang CC, Lam DS. Optic disc measurements in myopia with optical coherence tomography and confocal scanning laser ophthalmoscopy. *Invest Ophthalmol Vis Sci.* 2007 Jul;48(7):3178-83. PubMed PMID: 17591887.

211: Lam DS, Leung DY, Chiu TY, Fan DS, Cheung EY, Wong TY, Lai JS, Tham CC. Pressure phosphene self-tonometry: a comparison with goldmann tonometry in glaucoma patients. *Invest Ophthalmol Vis Sci.* 2004 Sep;45(9):3131-6. PubMed PMID: 15326131.

235: Orr PR, Cramer LD, Hawkins BS, Bressler NM. Manifest refraction versus autorefraction for patients with subfoveal choroidal neovascularization. *Invest Ophthalmol Vis Sci.* 2001 Feb;42(2):447-52. PubMed PMID: 11157881.

269: Hitzenberger CK, Drexler W, Fercher AF. Measurement of corneal thickness by laser Doppler interferometry. *Invest Ophthalmol Vis Sci.* 1992 Jan;33(1):98-103. PubMed PMID: 1730551.

270: Quick MW, Boothe RG. A photographic technique for measuring horizontal and vertical eye alignment throughout the field of gaze. Invest Ophthalmol Vis Sci. 1992 Jan;33(1):234-46. PubMed PMID: 1730544.

274: Hitzenberger CK. Optical measurement of the axial eye length by laser Doppler interferometry. Invest Ophthalmol Vis Sci. 1991 Mar;32(3):616-24. PubMed PMID: 2001935.